

一种基于小波域特征树量化的数字水印算法^{*}

沈玉利^{1,2}, 姚俊¹, 郭雷¹

(1. 西北工业大学, 陕西 西安 710072; 2. 湛江海洋大学, 广东 湛江 524025)

摘要: 首先使用尺度交互式特征检测算法提取图像小波域逼近子图的特征点, 然后构造相应的特征树, 最后对特征树所有节点进行量化以嵌入二值水印信息。水印信息嵌入到图像的特征之中, 对 JPEG, JPEG 2000 以及高斯白噪音等多种处理具有较强的鲁棒性。

关键词: 数字水印; 尺度交互式特征检测算法; 特征树量化

中图法分类号: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1001-3695(2006)01-0233-02

A Novel Watermarking Algorithm Based on Feature Tree Quantization

SHEN Yu-li^{1,2}, YAO Jun¹, GUO Lei¹

(1. Northwest Polytechnical University, Xi'an Shanxi 710072, China; 2. Zhanjiang Ocean University, Zhanjiang Guangdong 524025, China)

Abstract: The feature points in the lowest approximation of the original image are extracted with the scale interaction model for feature detection and the feature tree is created corresponding to these feature points. Then the binary watermark bits are embedded by feature tree quantization. The watermark are robust to many processing such as JPEG, JPEG 2000 and Gaussian noise because the watermark bits are inserted into the features of image.

Key words: Digital Watermark; Scale Interaction Model for Feature Detection; Feature Tree Quantization

数字水印是一种新兴的媒体版权保护与认证技术, 它在数字视频、数字广播电视、付费电视等媒体的版权保护、认证与监视领域中具有良好的应用前景, 已经成为目前的研究热点之一。在图像的主要特征中嵌入水印信息, 从而可以获得很强的鲁棒性以及水印信息的不可感知性是当前数字水印技术的主要研究方向之一^[1,2]。

本文提出一种基于特征树量化的数字水印算法, 首先使用尺度交互式特征检测算法提取图像逼近子图特征点并构造相应的特征树, 然后对特征树的节点进行量化以嵌入二值水印序列。与王卫卫的算法^[3]相比, 本文的水印嵌入与检测算法更为简单, 具有更低的计算复杂度; 而且水印数据为二值序列而非伪随机序列, 具有更高的水印容量与更明显的意义。

1 图像小波域特征树的构建

适于水印嵌入的图像特征需要满足如下的条件: 特征应具有较好的鲁棒性; 特征的轻微改变对图像的质量损失较小; 特征的分布能够最大程度地覆盖整个图像空间。

Manjunath 提出的尺度交互式 (Scale Interaction Model) 图像特征点检测算法^[4]能够较好地满足上述条件, 并且特征的描述机制非常简单。故本文选择此算法提取图像特征点。

1.1 尺度交互式特征检测

(1) 使用 Gabor 小波滤波器在不同尺度下对图像 $f(x, y)$ 进行小波分解以获得不同尺度下图像的简单特征, 即

$$W_j(x, y) = \int \int f(x, y) g^*(j(x-x_1), y-y_1) dx_1 dy_1 \quad (1)$$

式中 $g^*(j(x-x_1), y-y_1)$ 表示 Gabor 母小波 $g(x, y) = \exp(-(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}) + i x)$, $x = x \cos \theta + y \sin \theta$, $y = -x \sin \theta + y \cos \theta$ 在尺度 j 下的离散化表示。

(2) 对简单特征的差分进行非线性变换, 以获得交互式特征检测器的响应, 即

$$Q_{ij}(x, y) = f(W_i(x, y) - W_j(x, y)) \quad (2)$$

式中 $Q_{ij}(x, y)$ 表示特征检测器在图像中给定位置 (x, y) 与指定方向 θ 上的响应, $i, j \in \{0, -1, -2, \dots\}$, i, j 表示不同的尺度; $\alpha = 2^{-(i-j)}$ 为归一化因子, $f(\cdot)$ 为一个非线性变换函数。

(3) 根据如下的准则提取特征点 $P_{x,y}$

$$P_{x,y} = (x, y) | Q_{ij}(x, y) = \max_{(x,y) \in N_{x,y}} Q_{ij}(x, y) \quad (3)$$

式中 $N_{x,y}$ 表示图像在 (x, y) 处的邻域, $P_{x,y}$ 为提取出的图像特征点。

1.2 小波域特征树的构建

(1) 对原始图像 I 进行 L 层小波分解, 以获得图像的小波域表达。 $HL_n, LH_n, HH_n (n=1, 2, \dots, L)$ 表示图像在不同方向上的高频信息, LL_L 为图像的逼近子图。

(2) 使用尺度交互式特征检测器提取逼近子图的特征点, 并构造相应的特征树。设逼近子图的第 i 个特征点为 $P_{x,y}$, 记与此特征点对应的特征树为 $T^i(x, y)$, 则特征树的构建方法如下:

$$T^i(x, y) = T_{h,L}^i(x, y) \quad T_{v,L}^i(x, y) \quad T_{d,L}^i(x, y) \quad (4)$$

式中 $T_{h,L}^i(x, y) = T^i(HL_L(x, y))$, $T_{v,L}^i(x, y) = T^i(LH_L(x, y))$, $T_{d,L}^i(x, y) = T^i(HH_L(x, y))$ 分别表示水平、垂直与对角方向上与逼近子图对应的特征子树, 且

$$T_{\alpha,n}^i(x, y) = T_{\alpha,n-1}^i(2x-1, 2y-1) \quad T_{\alpha,n-1}^i(2x-1, 2y) \quad T_{\alpha,n-1}^i$$

$$(2x, 2y-1) \quad T_{o,n-1}^i(2x, 2y), o \in \{h, v, d\}, n=L, L-1, \dots, 2 \quad (5)$$

$$T_{h,1}^i(x, y) = HL_1(x, y), T_{v,1}^i(x, y) = LH_1(x, y), T_{d,1}^i(x, y) = HH_1(x, y)$$

(3) 获得图像的小波域特征树

$$FTree = \sum_{i=1}^{num} T^i(x, y)$$

式中 num 为图像逼近子图的特征点总数。

2 基于小波域特征树量化的水印嵌入检测

在对图像进行小波变换并构造小波域特征树之后,按照如下的步骤嵌入水印信息:

(1) 生成二值水印序列 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_q\}$, q 为小波域特征树的所有节点数。

(2) 按照量化规则嵌入二值水印序列。若 $w_i = 1$, 则 $FTree_i = +$; 若 $w_i = -1$, 则 $FTree_i = -$ 。其中 $FTree_i (i=1, 2, \dots, q)$ 表示特征树的第 i 个节点的取值, >0 表示水印嵌入的强度。

对修改后的小波域系数进行相应的小波逆变换以获得嵌入水印后的图像。水印的检测也非常简单,其过程如下:

(1) 对待测图像进行 L 层小波变换。

(2) 构造小波域特征树。由于水印的检测需要获得水印嵌入时的精确位置,因此需要保存图像逼近子图的原始特征点位置信息,在水印检测时直接使用这些位置信息构造待测图像的小波域特征树 $FTree^*$ 。

(3) 提取水印序列。若 $FTree_i^* > 0$, 则 $w_i^* = 1$; 若 $FTree_i^* < 0$, 则 $w_i^* = -1$; 若 $FTree_i^* = 0$, 则 $w_i^* = rand(-1, 1)$ 。其中 $FTree_i^*$ 为待测图像特征树的第 i 个节点取值, w_i^* 为提取出的水印位, $rand(-1, 1)$ 表示在 $\{-1, 1\}$ 中随机取值, $i=1, 2, \dots, q$ 从而提取出水印序列。

(4) 求取原始水印序列与提取出的水印序列的相关值。

$$cor(W, W^*) = \frac{W \cdot W^*}{\|W\|_2 \cdot \|W^*\|_2}, \quad \cdot \text{表示序列的内积, } \|\cdot\|_2 \text{ 表示序列的 } 2\text{-范数; 由于水印序列为二值序列, 故}$$

$$cor(W, W^*) = \frac{1}{q} W \cdot W^*。$$

本文根据相关值之间的关系来判断水印序列是否为原始水印序列,这是因为待测图像受到处理攻击后,相关值有时较小,但 $cor(W, W^*)$ 却明显地大于 W^* 与其他任意 N 个(本文 N 取值为 1 000) 二值序列的相关值 $cor_i, i=1, 2, \dots, N$ 。若 $cor(W, W^*)$ 为 cor_i 中的峰值,并且与 cor_i 中最大值的比值 $Ratio$ 大于 1.5, 则可判断提取出的水印与原始水印相同。

3 实验与结果

以图像 Bridge(256 × 256 × 8) 对本文提出的算法进行验证,图 1 为原始图像,图 2 为嵌入水印后的图像。

嵌入水印后图像的 PSNR 值为 40.370 8dB。采用的参数如下:使用三层 Har 小波变换;尺度交互式特征检测器的空间纵横比 = 1, = 0, 尺度因子 = 2, $i = -1, j = -2$, 非线性变换 $f(\cdot) = Abs(\cdot)$, 即取模值运算,水印强度 = 10。表 1 ~ 表 3 分

别为不同处理下的检测结果。



图 1 原始图像

图 2 嵌入水印后的图像

表 1 JPEG 处理检测结果

	JPEG 压缩品质 (%)						
	90	80	70	60	50	40	30
相关值	0.974 2	0.765 2	0.504 5	0.465 2	0.410 6	0.350 0	0.259 1
Ratio	7.564 7	5.941 2	3.659 3	3.301 1	3.188 2	2.431 6	2.060 2

表 2 JPEG 2000 处理检测结果

	JPEG 2000 压缩比			
	2	4	8	10
相关值	1.000 0	0.763 6	0.203 0	0.181 8
Ratio	7.674 4	5.142 9	1.810 8	1.538 5

表 3 其他处理检测结果

	维纳滤波	高斯滤波	高斯	Fmlr	Template-	下采样
	3 × 3 模板	3 × 3 模板	白噪音		Remove	
相关值	0.304 5	0.916 7	0.468 2	1.0000	0.277 3	0.1000
Ratio	2.421 7	6.954 0	3.551 7	7.674 4	2.204 8	2.062 5

注:加入高斯白噪音的图像的信噪比 SNR 值为 -9.990 9dB

从实验结果中可以看出,该算法在保证图像质量的同时,可以有效地抵抗多种处理的攻击。

4 结论

本文提出一种使用尺度交互式特征检测算法来提取图像小波域逼近子图的特征点构造出相应的特征树,之后通过对特征树所有节点进行量化后嵌入二值水印信息的基于特征树量化的数字水印算法。由于水印信息是嵌入到图像的特征之中,该水印算法具有较强的鲁棒性和水印信息的不可感知性。

参考文献:

[1] utter M, Bhattacharjee S K, Ebrahimi T. Towards Second Generation Watermarking Schemes[C]. Proceedings of the International Conference on Image Processing(ICIP 99), 1999. 320-323.
 [2] Cox I J, Kilian J, Leighton F T, et al. Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(12): 1673-1686.
 [3] 王卫卫, 杨波, 宋国乡. 基于图像特征的小波域水印算法[J]. 光子学报, 2001, 30(7): 856-860.
 [4] Manjunath B S, Shekhar C, Chellappa R. A New Approach to Image Feature Detection with Applications[J]. Patter Recognition, 1996, 31: 627-640.

作者简介:

沈玉利(1955-), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为图像处理等; 姚俊(1977-), 男, 博士生, 主要研究方向为数字水印技术、图像处理等; 郭雷(1956-), 男, 教授, 博士生导师, 国家杰出青年科学基金获得者, 主要研究方向为神经网络计算、视觉计算、图像和视频处理、模式识别等。