

基于图像特征的鲁棒性数字水印算法

陈海鹏 秦俊 申铨京 王友卫

(吉林大学计算机科学与技术学院 长春 130012)

(吉林大学符号计算与知识工程教育部重点实验室 长春 130012)

摘要 为了同时实现图像版权保护和图像内容的真伪性鉴定,提出了一种基于数字图像特征的鲁棒性数字水印算法。先利用 Hessian 变换提取宿主图像的特征区域,并根据每个特征区域内各个像素点的局部方向,将用于版权保护的水印信息嵌入到这些特征区域中。同时,向图像中除特征区域之外的区域嵌入用于图像内容真伪鉴定的脆弱性水印。水印提取过程是水印嵌入的逆过程,在不需要原始图像的情况下实现了版权水印和内容鉴定水印的提取。实验表明,该算法能抵抗大多数的移除攻击等几何篡改,对篡改发生的位置定位效果良好。

关键词 数字水印,特征提取,版权保护,内容鉴定

中图法分类号 TP391 **文献标识码** A

Robust Watermarking Algorithm Based on the Feature of Digital Image

CHEN Hai-peng QIN Jun SHEN Xuan-jing WANG You-wei

(College of Computer Science and Technology, Jilin University, Changchun 130012, China)

(Key Laboratory of Symbolic Computation and Knowledge Engineering of Ministry of Education, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract In order to achieve the goal of image authentication and protection simultaneously, we proposed a feature-based robust digital image watermarking algorithm. The Hessian-Affine feature detector was used at first to search characteristic regions of an image, then embed the copyright watermark into these characteristic regions according to the local orientation of each pixel. Moreover, the remainder regions were applied for image authentication by using fragile watermarking method. The proposed watermark extract scheme is similar with the above embedding scheme, the procedure is executed blindly, for the host image is not needed. The experimental results in this paper show that the proposed watermarking algorithm can resist most removal and geometric attacks. Besides, changes of an image will be reflected in our hidden watermarks.

Keywords Digital watermark, Feature extraction, Copyright protection, Content authentication

1 引言

近年来,用于图像版权保护和内容真伪性鉴定的数字水印技术已经获得了较大的发展。一般来说,数字水印技术分为两大类:鲁棒性水印技术和脆弱性水印技术。鲁棒性水印旨在保证当水印图像遭受篡改攻击后仍能被准确提取,故常用于图像版权保护和所有权确认^[1-6],脆弱水印技术则旨在通过提取出来的水印信息判断图像是否发生了篡改及最终确定发生的位置等^[7]。

当前,有关水印嵌入的算法已经有许多,如:基于变换域水印嵌入模式、基于向导的水印嵌入模式、基于特征的水印嵌入模式等。基于变换域的水印嵌入模式是将水印信息嵌入到如小波变换等生成的系数矩阵中^[12];基于向导的嵌入模式不仅在宿主图像中嵌入图像所有权信息而且还嵌入如用于再同步等的冗余信息^[2];基于特征的嵌入模式则是将水印信息嵌入到图像的仿射不变域中,由于这些区域对于旋转、缩放等都

具有较好的稳定性,故此种嵌入方法得到了较为广泛的应用。文献[7]提到许多效果较好的特征检测器,如:Hessian 仿射检测器、Harris 仿射检测器等,文中验证了每种检测器的良好的匹配效果,可是这些检测器面对攻击的鲁棒性不高。文献[8]认为,使用 Hessian 和 MSER 检测器均可以获得较好的实验效果,但是,由于 MSER 检测器的输出区域不规则,故该类检测器难以在水印算法中实施^[11]。文献[9]结合多尺度 Harris 检测算子,采取 DFT 中频幅值比较策略将水印信息重复嵌入到多个归一化局部特征区域内,该算法透明性较好,而且对常规信号处理和一般性几何攻击均具有较好的鲁棒性。本算法先使用 Hessian 仿射检测器提取图像中的特征区域,接着根据特征区域中每个点的局部方向嵌入鲁棒水印信息,最后向除特征区域之外的部分嵌入脆弱水印信息。实验表明,该算法能抵抗旋转、裁剪等各种几何篡改,对图像遭受篡改的区域也能给出较准确的定位。

到稿日期:2010-06-25 返修日期:2010-10-28 本文受国家自然科学基金(60773098),吉林省自然科学基金项目(201115025)资助。

陈海鹏(1978—),男,博士生,主要研究方向为图像处理与模式识别、多媒体信息安全,E-mail:chenhp@jlu.edu.cn;申铨京(1958—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为图像处理与模式识别、多媒体信息安全、智能控制技术,E-mail:xjshen@jlu.edu.cn(通信作者)。

2 Hessian 仿射特征检测器

Hessian 仿射检测器是一种仿射不变特征点检测器,由 Mikolajczyk 和 Schmid 提出^[7]。在本文中,使用它提取宿主图像的特征点继而找到特征不变区域,相关执行过程如下:

1) 生成 Hessian 矩阵 H :

$$H(x, \sigma_D) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, \sigma_D) & L_{xy}(x, \sigma_D) \\ L_{xy}(x, \sigma_D) & L_{yy}(x, \sigma_D) \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, x 表示点 (x, y) 的坐标, σ_D 是 Gaussian 核的不同尺度, L_{ij} 与变量 i, j 相关, 表示 x 点对应的二阶导数, 该点对应的二阶导数判别式为:

$$D(x, y) = \begin{vmatrix} f_{xx} & f_{xy} \\ f_{xy} & f_{yy} \end{vmatrix} = f_{xx} \cdot f_{yy} - (f_{xy})^2 \quad (2)$$

若该函数取得局部极大值, 则将该点选取为局部特征点。接着, 使用 LoG 算子 (Laplace of Gaussian) 来选择特征区域的空间尺度, 其表示形式如下:

$$|L_oG(x, \sigma_n)| = |\sigma_n^2(L_{xx}(x, \sigma_n) + L_{yy}(x, \sigma_n))| \quad (3)$$

σ_n 表示在区域 n 处的 Gaussian 尺度因子, 该算子局部极大值所对应的尺度即为特征尺度。

2) 根据每个特征点对应的二阶矩阵的特征值 u 获取该特征点对应的椭圆区域, 其中 σ_l 为积分尺度。

$$u(x, \sigma_l, \sigma_l) = \sigma_l^2 G(x, \sigma_l) * \begin{bmatrix} L_x^2(x, \sigma_D) & L_x L_y(x, \sigma_D) \\ L_x L_y(x, \sigma_D) & L_y^2(x, \sigma_D) \end{bmatrix} \quad (4)$$

3) 根据特征点对应的二阶矩阵平方根将获得的椭圆特征区域转化为圆形特征区域。

4) 使用一个新的尺度值在获取的圆形区域中执行 Hessian 检测过程得到一个新的特征点。重复以上过程至新点对应的二阶矩阵的特征值与原始点所对应的特征值相等。这样, 就得到了图像中一个特征点及其对应的特征区域。

通过使用 Hessian 仿射检测器, 我们可以从处理之后的 Lena 宿主图像中获得许多特征点, 如图 1(a) 所示。当对 Lena 宿主图像逆时针旋转 5 度, 放大 1.16 倍, 裁切掉 10.32% 操作后, 检测到的特征点如图 1(b) 所示。由图可知, 检测到的经过仿射变换后的图像中的特征点在图像中的相对位置变化不大, 故常规仿射变换对特征点的定位效果影响不大, Hessian 仿射检测器鲁棒性能较高。

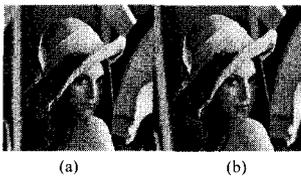


图 1 (a) Lena 图像提取的特征点; (b) Lena 图像经旋转、缩放、裁切后提取的特征点

3 水印嵌入过程

该算法分以下两步完成水印嵌入过程: 版权水印信息嵌入和图像真伪鉴定信息嵌入。前一过程将版权保护信息嵌入到所选特征区域, 后一过程则将脆弱性水印信息嵌入到图像中特征区域之外的部分。水印嵌入过程是水印算法的主体部分, 具体流程如图 2 所示。

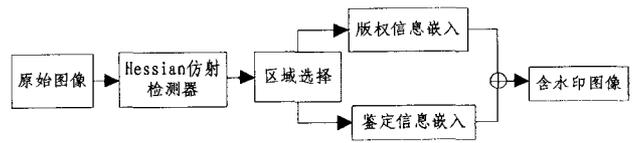


图 2 水印嵌入过程框图

3.1 版权信息生成及嵌入过程

此过程先生成用于版权保护的水印信息, 然后结合 NVF (噪声可视函数) 将水印信息嵌入到检测到的特征区域。相关步骤如下:

1) 通过使用特征点所对应的二阶特征矩阵将选择的每一处特征区域由椭圆形转换成圆形。

2) 计算圆形区域内每个点的梯度方向, 找到区域内最大梯度作为该区域的梯度, 旋转该区域方向至一个特定的方向。

3) 使用伪随机序列生成器并结合一个安全密钥 key 生成版权保护信息序列 $w_i(j)$, 并将序列中的所有元素映射到 $\{-1, 1\}$ 域内;

4) 将生成的版权保护信息嵌入到圆形特征区域内, 嵌入函数如下所示:

$$I_w(x) = I(x) + (1 - NVF(x)) * w_i(j) * c_1 + NVF(x) * w_i(j) * c_2 \quad (5)$$

式中, $I(x)$ 表示点 x 的原始像素值, $I_w(x)$ 表示 $I(x)$ 嵌入水印 $w_i(j)$ 后的像素值, c_1 和 c_2 是由实验确定的参数。NVF 定义为:

$$NVF(x) = \frac{1}{1 + \theta * s(x)}, \theta = \frac{D}{s_{max}} \quad (6)$$

式中, $s(x)$ 表示局部区域像素值方差, s_{max} 表示图像局部区域的方差最大值, D 是由实验确定的常数, 设置 D 为 50 或者 100。

5) 将整个版权水印信息值嵌入到所选区域之后, 对每个特征区域逆变换到椭圆形区域得到含水印图像。

3.2 图像真伪鉴定信息生成及嵌入过程

在此过程中, 同样需生成用于图像内容真伪鉴定的水印信息, 嵌入过程结合 Hash 操作, 根据 LSB 算法原理^[10] 实现认证信息的隐藏。具体过程如下:

1) 将除了特征区域之外的部分分为若干个 $8 * 8$ 像素块, 对每个像素块进行编码, 对每个像素块按以下步骤 2)~4) 操作。

2) 将像素块内每个像素点去除 LSB 位, 然后结合图像的长度、宽度及一个安全密钥一起进行 Hash 操作, 并使用 MD5 编码算法对该像素块进行编码。

3) 结合一个安全密钥使用伪随机序列生成器生成一个脆弱性水印, 该过程与版权信息嵌入过程中第 3 步类似。

4) 将生成的脆弱水印序列和 Hash 函数的输出序列异或, 然后用得到的结果替换像素块内的 LSB 位。

4 水印检测过程

该过程是水印嵌入的逆过程, 图 3 为水印检测算法过程框图, 由图可见除了版权信息检测和图像真伪鉴定信息检测两个过程之外, 其他过程与水印嵌入过程是类似的。特征区域选择好之后, 使用版权信息检测和图像真伪鉴定信息检测功能来分别进行版权水印信息和脆弱水印信息的检测。下面对这两个部分的执行过程做详细介绍。



图3 水印检测过程框图

4.1 版权信息检测

版权信息检测过程可分以下几步完成：

- 1)与版权信息嵌入过程中第1步类似。
- 2)与版权信息嵌入过程中第2步类似。

3)计算嵌入水印后图像和该图像经过Wiener滤波后图像这两幅图像的差值,并从图像中提取隐藏的水印信息。

4)比较提取的水印图像和原始水印图像之间的位错误率,若位错误率小于一个事先给定的阈值,则表明版权保护信息已被正确地提取出来。

4.2 图像真伪鉴定信息检测

图像内容真伪鉴定信息检测过程可分以下几步完成：

- 1)与认证信息嵌入过程中第1步类似。
- 2)与认证信息嵌入过程中第2步类似。

3)将步骤2)的输出结果与每个 8×8 像素块中的每个像素值的最低位异或,如果该结果与原来的脆弱水印之间在某位存在不同,则表示该像素块已被修改。

可见,图像的版权和内容真伪鉴定检测结果是由提取出来的两类水印信息决定,即对图像的篡改会通过提取出的水印信息检测出来。如果图像本身没被篡改而提取的水印信息存在错误,则称此错误类型为虚警。对于一幅未嵌入水印的图像,其提取的水印比特可随机近似为0.5。定义 $P_{SP-region}$ 为某个特征区域中水印正确提取的概率,则有:

$$P_{SP-region} = \sum_{i=n-T}^n \binom{n}{i} * (0.5)^i * (0.5)^{n-i} \quad (6)$$

式中, T 是一个事先指定的阈值, i 表示匹配水印比特的序列号, n 表示水印信息的长度。我们规定,当图像中至少有 m 处区域被检测到时,便证明了图像中含有水印信息。因此,图像虚警率 $P_{SP-image}$ 定义为:

$$P_{SP-image} = \sum_{j=m}^N \binom{N}{j} * (P_{SP-region})^j * (1-P_{SP-region})^{N-j} \quad (7)$$

式中, N 为图像中检测到的特征区域块数, j 表示匹配区域序列号。在本实验中,相关参数设定如下: $T=30, n=100, N=20$ 。 $m=1, 2, 3$ 时图像虚警率为 $7.8 \times 10^{-4}, 2.9 \times 10^{-7}, 6.9 \times 10^{-11}$ 。在本实验中,对于不同的宿主图像,检测到的特征区域平均数目为20。

5 实验结果与分析

Tang提出了一种可信特征点算法,该算法使用Mexican Hat提取图像特征点,并结合图像归一化技术提高了算法抵抗旋转攻击的能力,但是不足之处在于特征点的稳定性较差;Seo提出了一种基于Harris Laplacian变换的特征点定位算法,该算法提高了特征点定位的精度,同时也提高了计算复杂度。本文使用 512×512 大小的Lena和Baboon图像作为实验图像来测试算法的性能。嵌入版权信息和内容真伪性鉴定信息之后,这两幅图像的峰值信噪比分别为45.62dB和42.17dB,可见嵌入水印后的图像质量较高,说明了水印信息具有较高的透明性。图4显示了当图像遭受不同压缩率JPEG压缩攻击时使用本文算法、Tang算法及Seo算法的特

征区域检测率。这里,检测率指从篡改图像中正确检测到的特征区域与原始图像中检测到的特征区域数目之比。由图可知,当压缩率小于40时,3种算法的检测率都低于0.1,说明这3种算法都难以抵抗低压缩率的JPEG压缩攻击;当压缩率大于40时,使用本文算法检测出来的特征区域相比其他两种方法多,即证明该算法在抵抗一定程度的JPEG压缩攻击方面具有较高的鲁棒性。

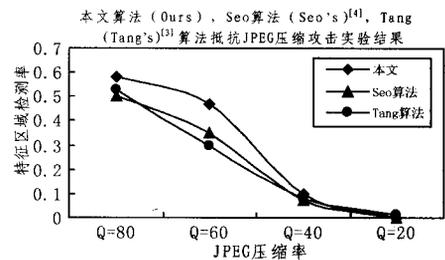


图4 3种不同的算法抗JPEG压缩能力比较

表1给出了这3种算法在遭受除JPEG压缩外其他篡改攻击类型时的实验对比结果。表中第1列显示了图像遭受攻击的类型,第2-4列分别显示了使用本文算法、Seo算法和Tang算法的检测率,该检测率指的是能正确提取出水印信息的特征区域数目与特征区域总数目的比值。可见,当图像受到旋转等仿射变换攻击时,使用本文算法能将大部分版权水印信息提取出来。相比其他算法,本算法抵抗攻击能力更强。

表1 本文算法(Ours),Seo算法(Seo's)^[4],Tang(Tang's)^[3]算法对比实验结果(符号—代表没有数据)

攻击类型	Baboon			Lena		
	本文	Seo算法	Tang算法	本文	Seo算法	Tang算法
无	19/19	—	7/8	23/25	—	10/11
旋转1°	9/19	—	3/8	9/25	—	3/11
旋转5°	6/19	—	0/8	4/25	—	0/11
裁剪10%	8/19	—	2/8	8/25	—	2/11
裁剪50%	2/19	—	—	2/25	—	—
缩放50%	1/19	2/7	—	0/25	0/7	—
缩放110%	4/19	—	—	4/25	—	—
中值滤波3×3	11/19	—	1/8	6/25	—	2/11
高斯滤波3×3	8/19	2/7	1/8	11/25	0/7	0/11
锐化3×3	6/19	1/7	4/8	8/25	0/7	4/11
自由扭曲	4/19	4/7	—	0/25	0/7	—
移除1行5列	6/19	—	3/8	9/25	—	6/11
移除5行17列	3/19	5/7	0/8	9/25	1/7	4/11

图5显示了当含水印Lena图像遭受不同程度的旋转攻击时,使用本文算法、Seo算法、Tang算法检测到的特征区域对比结果。其中,图5(b1),(c1)分别表示含水印图像逆时针旋转5°,10°后的图像,(a2),(b2),(c2)显示了旋转角度为5°时使用这3种算法检测到的特征区域,(a3),(b3),(c3)则对应了旋转角度为10°时的检测结果。由此图可知,本文检测到的特征区域个数要明显多于后两个算法的检测数目,表明使用本算法能正确提取出更多的版权水印信息,相比于其他算法而言,鲁棒效果更好。

图像内容真伪鉴定过程可以通过检测图像中所隐藏的脆弱水印实现,在本实验中,我们对含有脆弱水印信息的图像(图6(a))做一些像素级别上的修改,例如在图像左上角添加“ABCD”字样等,修改结果如图6(b)所示,使用本算法检测定位结果如图6(c)所示。很明显,遭受篡改的图像区域已经被准确定位了。

(下转第264页)

参考文献

- [1] 姚鸿勋,高文,王瑞,等. 视觉语言-唇读综述[J]. 电子学报, 2001(2):239-246
- [2] Hong Xiao-peng, Yao Hong-xun, Wan Yu-qi, et al. A PCA based Visual Feature Extraction Method for Lip-Reading[C]// Proceeding of the 2006 international Conference on intelligent information Hiding and Multimedia Signal Processing(IIH-MSP'06)
- [3] 万玉奇,姚鸿勋,洪晓鹏. 唇读中基于像素的特征提取方法的研究[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(20): 197-199, 221
- [4] 何俊,张华,刘继忠. 在 DCT 域进行 LDA 的唇读特征提取方法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(32): 150-152, 155
- [5] He Jun, Zhang Hua. Research on Visual Speech Feature Extraction [C]// 2009 international Conference on Computer Engineering and Technology. 2009:499-502
- [6] Atthews M, et al. Extraction of visual features for lipreading [J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intel-

- ligence, 2002, 24(2): 198-213
- [7] Potamianos G, Neti C, Gravier G, et al. Recent advance in the automatic recognition of audio-visual speech[J]. Proceedings of the IEEE, 2003, 91(9): 1306-1326
- [8] Heckmann M. DCT-based video features for audio-visual speech recognition[C]// Proc. Int Conf Spoken Lang Process Denver, USA, September 2002: 1925-1928
- [9] Yao Wen-juan, Liang Ya-ling, Du Ming-hui. A Real-time Lip Localization and Tracking for Lip Reading[C]// 2010 the 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering(ICACTE 2010). Chengdu, China, August 2010: 20-22
- [10] 梁亚玲,杜明辉. 基于 Lab 空间 a 分量的唇部提取方法[J]. 计算机工程, 2011, 37(3): 19-21
- [11] Kokiopoulou E, Saad Y. Orthogonal Neighborhood Preserving Projections[C]// Proceeding of the Fifth IEEE International Conference on Data Mining(ICDM'05)
- [12] 易克初. 语音信号处理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001

(上接第 260 页)

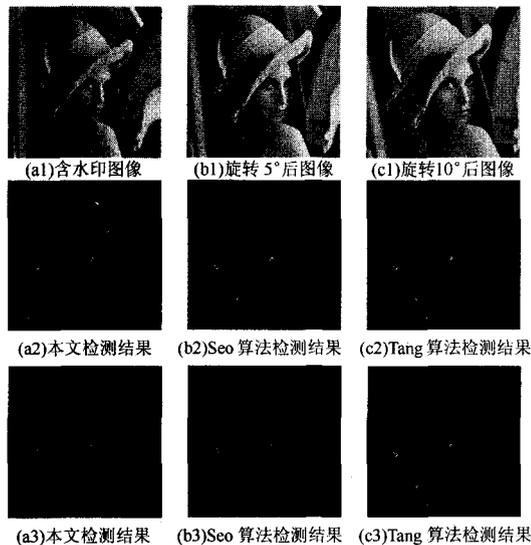


图5 不同算法抵抗旋转攻击比较

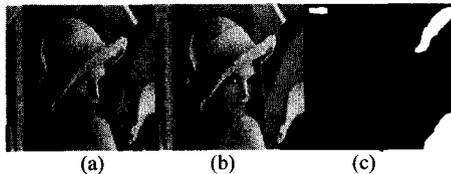


图6 (a)含水印 Lena 图像; (b)篡改后图像; (c)篡改检测结果

结束语 本文提出了一种基于图像特征的应用于图像版权保护和内容真伪鉴定的鲁棒性水印算法,即先使用 Hessian 仿射检测器获取宿主图的像特征区域,接着将版权保护信息嵌入到这些特征区域中,最后将脆弱水印嵌入到图像的非特征区域。对比其他水印算法,本文算法具有更好的鲁棒效果,并且可以通过脆弱水印信息对图像所遭受的篡改位置进行定位。由于图像特征区域具有仿射不变性,故该算法能抵抗一些常规的如旋转、缩放、裁剪等几何攻击。但是由于 Hessian 仿射检测过程计算量较大,使得整个算法的计算复

杂度较高。因此,在以后的实验中可以考虑将脆弱水印信息嵌入到图像的特征区域以增加算法精度。

参考文献

- [1] Lin C Y, Wu M, Bloom J A, et al. Rotation, scale and translation resilient water-marking for image[J]. IEEE Trans. Image Processing, 2001, 10(5): 767-782
- [2] Jin C, Wang S H. Robust Digital Watermark Technique for Copyright Protection[J]. Information Engineering and Electronic Commerce, 2009, 3(10): 237-240
- [3] Tang C W, Hang H M. A feature-based robust digital image watermarking scheme[J]. IEEE Trans. Signal Processing, 2003, 51(4): 950-959
- [4] Seo J S, Yoo C D. Localized image watermarking based on feature points of scale-space representation[J]. Pattern Recognition, 2004, 37(7): 1365-1375
- [5] Lee H Y, Kim H, Lee H K. Robust image watermarking using local invariant features[J]. Journal SPIE, Optical Engineering, 2006, 45(3)
- [6] Shu Z H, Liu G D. Image Watermarking Based on Wavelet-Based Contourlet Packet Transform with Best Tree[J]. IEEE Trans. Image Processing, 2009, 1(10): 203-207
- [7] Mikolajczyk K, Schmid C. Scale and affine invariant interest point detectors[J]. Int. J. Computer Vision, 2004, 60(1): 63-86
- [8] Mikolajczyk K, Tuytelaars T, Schmid C, et al. A comparison of affine region detectors[J]. Int. J. Computer Vision, 2005, 65(1/2): 43-72
- [9] 王向阳,侯丽敏. 基于图像特征点的强鲁棒数字水印嵌入方案[J]. 自动化学报, 2008, 34(01): 1-6
- [10] 刘红翼,王继军. 一种基于 LSB 的数字图像信息隐藏算法[J]. 计算机科学, 2008, 28(01): 102-125
- [11] 张宪海,杨水田. 基于脆弱水印的图像认证算法研究[J]. 电子学报, 2007, 35(01): 34-39
- [12] 王向阳,杨艺萍. 基于小波矩的抗几何攻击数字图像水印算法研究[J]. 中国图像图形学报, 2010, 05(01): 15-19