

一种基于特征点的双数字水印方案

郑爱彬, 张 明

(南京师范大学 数学与计算机科学学院, 江苏 南京 210097)

[摘要] 提出了一种基于特征点的双数字水印方案. 该方案将原始水印转换为与图像内容相关的两个水印, 通过混沌序列分别嵌入到特征点区域中. 在进行水印检测时, 同时检测出两个水印, 恢复出原始水印图像. 该方案在考虑数据压缩和几何攻击的同时, 也对解释攻击(IBM 攻击)进行了一定的应对. 实验结果与理论分析表明, 该方案具有较好的强壮性.

[关键词] 特征点, 混沌, 解释攻击, 双水印

[中图分类号] TN911.73 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292-(2005)01-0050-03

New Watermarking Scheme Based on the Feature Points

ZHENG A bin ZHANG Ming

(School of Mathematics and Computer Science, Nanjing Normal University, Jiangsu Nanjing 210097, China)

Abstract This paper presents a new watermarking scheme of digital images based on the feature points. In this scheme, the original watermark can be converted into two watermarks interrelated with digital image and then be embedded into the circumjacent area of feature points through chaos sequence. When checking, two watermarks are checked at the same time, and the original watermark can be resumed. Experimental results and theoretic analyses show that the scheme can stand against several attacks, such as image compression, geometric attack, IBM attack, etc.

Key words feature point, chaos, IBM attack, double watermarks

0 引言

计算机网络通讯技术的发展,使得多媒体数据的交换与传输方便而迅捷.但同时,多媒体作品所有权保护的问题也变得越来越突显.数字水印技术被认为是一种比较好的解决方案.为了保护多媒体作品的版权,抵抗各种可能的攻击,数字水印一般要求具有较好的不可见性、鲁棒性和可证明性.目前,数字水印的研究大多集中在提高数字水印的鲁棒性和不可见性上,且多数水印为二值图像或数字序列,而对于针对灰度图像的可证明性攻击,如解释攻击等则相对显得较为脆弱.

对此,本文提出一种基于图像特征点的双数字水印方案.该方案通过在不同特征点上嵌入两个内容相关的水印,来抵抗可能出现的攻击.实验结果与理论分析表明,该方案具有较好的不可见性、鲁

棒性与可证明性.

1 双数字水印方案

1.1 混沌系统

混沌函数具有伸大拉长和折回重叠的性质,所以具有不可预测性.混沌序列是一个伪随机序列,可以由迭代方程生成.

设一维映射 $X_{n+1} = f(X_n; U_i)$, 当初始条件 x_0 出现偏差 δx_0 , 则经过 n 次迭代后的误差为:

$$\delta x_n = |f^n(x_0 + \delta x_0) - f^n(x_0)| = |f^n(x_0) / dx^* \delta x_0| = e^{LE^* n} \delta x_0$$

其中, $LE = 1/n^* \ln(\delta x_n / \delta x_0) = \ln |f^n(x_n) / dx| / n$, 即所谓 Lyapunov 特征指数,它表征了相邻两点之间的平均指数幅散率.若参数 U_i 在混沌区取值,迭代轨迹将以指数级发散^[1], 因而混沌序列对初始值极为敏感.

收稿日期: 2004-08-18
基金项目: 南京师范大学 211 重点资助项目.
作者简介: 郑爱彬(1978-), 助教, 主要从事多媒体技术等方面的教学与研究. E-mail: zhengabin@pnu.edu.cn

采用光学双稳模型^[1]作为混沌源,定义混沌映射如下:

$$X_{n+1} = f(X_n | A, X_B) = A \sin^2(X_n - X_B) \quad (1)$$

其中, A, X_B 为参数。

将混沌映射 (1) 通过取模运算, 得到映射 (2), 即:

$$Y_n = [X_n] \bmod K_x \quad (2)$$

其中, $[\cdot]$ 为取整操作, K_x 为参数。

映射 (2) 同样具有映射 (1) 的混沌特性, 记为:

$$Y_{n+1} = f'(X_n; A, X_B, K_x) \quad (3)$$

当给定初值 x_0 和参数 A, X_B, K_x , 即可生成混沌序列: $\{x_k | k = 0, 1, 2, 3, \dots\}$ 该序列具有混沌特性, 且对初始条件 x_0 极为敏感。可以利用该序列进行水印的嵌入与检测。

1.2 水印嵌入区域的选择及特征点的提取

特征点主要指图像中局部变化较大的点, 如拐点等。它们包含了图像较多的特征信息, 因而对人类视觉的冲击力较大。对于特征点的更改往往可能导致图像质量的下降或含义的改变, 而特征点周边的区域往往也是人们比较感兴趣的区域。因此, 可以将水印嵌入到图像特征点周边的局部区域内^[2~5], 使水印与图像特征紧密的结合在一起, 进而使水印拥有较高的鲁棒性。

对于特征点的提取, 本文采用改进的 A char d-Rouquet 检测算子, 即: 设

$$f(P_{ij}) = \frac{I_x^2 < I_y^2 > + I_y^2 < I_x^2 > - 2I_x I_y < I_x I_y >}{< I_x^2 > + < I_y^2 > + 1} \quad (4)$$

其中: $I_x = \frac{\partial I(x, y)}{\partial x}$, $I_y = \frac{\partial I(x, y)}{\partial y}$, $< \cdot >$ 表示 3×3

的局部范围内的平均值。

则定义特征点集合 $\Psi = \{P_{ij} | f(P_{ij}) > K\}$ 。这里, K 为指定的阈值, 用来控制特征点的最低满足条件。

为了获得更好的嵌入水印的不可见性, 作者对集合 Ψ 做进一步改进, 得:

$$\Psi_1 = \{P_{ij} | f(P_{ij}) > K \text{ and } F(\text{DCT}(V_{ij})) > KK \text{ and } f(P_{ij}) > f_{V_{ij}}(P_{i,j'})\} \quad (5)$$

其中, V_{ij} 表示点 P_{ij} 周边的局部区域; $f_{V_{ij}}(P_{i,j'})$ 表示对区域 V_{ij} 内任意一点 $P_{i,j'}$ 的式 (4) 的值; $F(\text{DCT}(V_{ij}))$ 表示区域 V_{ij} 的 DCT 高频系数的平均值; K, KK 为指定的阈值。

1.3 双水印的形成与嵌入算法

本文将水印分为两部分, 分别利用混沌序列嵌入图像中^[6], 如图 1 所示, 具体算法如下:

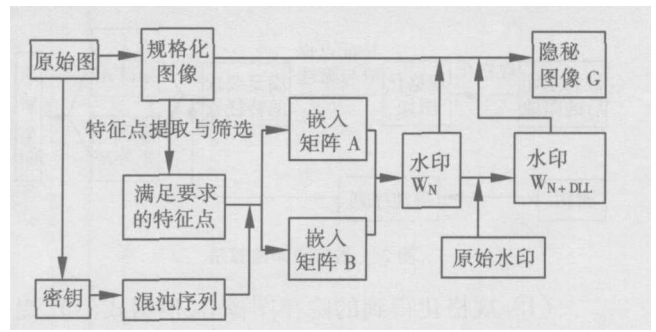


图 1 双数字水印嵌入算法

(1) 对 $K_1 \times K_2$ 大小的原始水印进行 DCT 变换^[7] 并进行量化, 得到矩阵

$$W_D = \frac{1}{Q_{K_1 K_2}} \begin{bmatrix} D_{LL} & D_{HH} \\ D_{HL} & D_{HH} \end{bmatrix}_{K_1 \times K_2}$$

选取其低频部分 D_{LL} , 其大小为 $K_1 \times K_2 / 4$

(2) 将 $M \times N$ 大小的原始图像 A 进行 DCT 变换并进行量化, 得到 DCT 系数矩阵 A_D 。

(3) 选取矩阵 A_D 中一高频系数 H_{AD} , 作为参数 X_B , 让参数 A 的值为 $M \times N \times 1000$, 设置初始值 x_0 , 根据混沌映射 (1), 得到混沌序列 $\{x_k; k = 0, 1, 2, 3, \dots\}$, 并将参数 X_B 和初始值 x_0 作为密钥保存。

(4) 对原始图像 A 规格化^[8, 9] 并根据式 (5), 适当选取阈值, 得到特征点集合

$$\phi_2 = \{P_i | i = 1, 2, \dots, q\}, \text{ 其元素个数为 } N_{\phi_2}.$$

(5) 对混沌子序列 $\{x_k | k = 0, 1, 2, \dots, P\}$, 依次选取 ϕ_2 中的第 $(X_k \bmod N_{\phi_2})$ 个不重复的特征点, 得集合 ϕ_3 , 元素个数为 N_{ϕ_3} 。对混沌子序列 $\{x_k | k = P, P+1, P+2, \dots, P'\}$ 选取集合 $\phi_2 - \phi_3$ 中的第 $(X_k \bmod (N_{\phi_2} - N_{\phi_3}))$ 个不重复的特征点, 得集合 ϕ_4 , 其元素个数为 N_{ϕ_4} 。

(6) 对集合 ϕ_3 中特征点的周边局部区域进行 DCT 变换, 选取 $K_1 \times K_2 / 4$ 个中频系数作为需要嵌入水印的载体。排列这些中频系数, 得嵌入矩阵 A 。对集合 ϕ_4 进行同样的操作, 得嵌入矩阵 B , 进而得水印图像 $W_N = (A - B) / (a_2 - a_1)$, 其中 a_1, a_2 为设定参数, $W_{N+DLL} = W_N + D_{LL}$ 。

(7) 将水印 W_{N+DLL} 和水印 W_N , 分别以强度 a_1, a_2 嵌入到矩阵 A 和 B 中, 即 $A' = A + a_1 \times W_{N+DLL}$, $B' = B + a_2 \times W_N$ 。

(8) 对集合 ϕ_3, ϕ_4 中特征点的周边区域进行 DCT 逆变换, 得隐秘图像 G 。

1.4 水印的检测算法

水印的检测算法依据密钥 X_B 和 x_0 进行, 如图 2 所示, 具体算法如下:

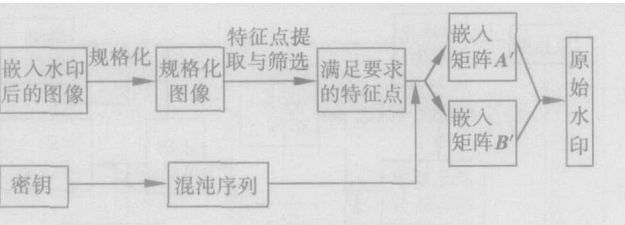


图 2 数字水印检算法

- (1) 规格化得到的隐秘图像 G , 根据式 (5), 提取出该图像的特征点集合 ϕ_2 .
- (2) 利用密钥 X_B 和 x_0 , 依据混沌映射 (1), 得到混沌序列 $\{x_k \mid k = 0, 1, 2, 3, \dots\}$.
- (3) 依据混沌序列 $\{x_k \mid k = 0, 1, 2, 3, \dots\}$, 分别提取出嵌入水印 $W_{N+D_{LL}}$ 和 W_N 的矩阵 A' 和 B' .
- (4) 根据参数 a_1, a_2 , 提取水印如下:

$$D'_{LL} = \frac{A' - B'}{a_1} = \frac{A + a_1 * W_{N+D_{LL}} + z' - B - a_2 * W_N - z''}{a_1} = \frac{A + a_1 * (W_N + D_{LL}) - B - a_2 * W_N + \frac{z' - z''}{a_1}}{a_1} = \frac{(A - B) - (a_2 - a_1) * W_N + a_1 * D_{LL} + \frac{z' - z''}{a_1}}{a_1} = D_{LL} + \frac{z' - z''}{a_1} \approx D_{LL} \tag{6}$$

式 (6) 中, z', z'' 分别表示矩阵 A 和矩阵 B 在传输过程中引入的噪音.

- (5) 对 D'_{LL} 补零及 DCT 逆变换, 恢复出原始水印图像.

2 算法分析及实验结论

目前, 对于水印的攻击至少存在稳健性攻击、表示攻击和解释攻击 3 种. 其中, 稳健性攻击和表示攻击主要以阻止对图像水印的检测为目的, 而解释攻击则是为了阻止对所有权的断言. 典型的解释攻击主要思想如下:

设原始图像为 A , A 的所有者嵌入水印 (以 W 表示) 得到包含水印的图像 A_w , 用函数形式表达为 $A_w = E(A, W)$, 其中函数 $E(\cdot)$ 表示水印的嵌入算法. 攻击者在不知道原始图像的情况下很容易获得图像 A_w . 若攻击者利用一个伪造的水印 W_F 和图像 A_w , 伪造出图像 A_F , 使得 $A_w = E(A_F, W_F)$, 则攻击者就可以将 A_F 作为他的“原始图像”, 对 A_w 声明所有权.

从上面的描述可以看到, 解释攻击的关键在于原始图像的伪造, 即找到满足条件 $A_w = E(A_F, W_F)$ 的图像 A_F . 如果在水印方案中能够阻止原始图像

A_F 的生成, 便能够有效地抗击对水印的解释攻击. 上述双数字水印方案中, 水印的生成与嵌入依赖于与原始图像内容相关的混沌序列的生成, 由混沌序列的不可逆可知, 根据已知的伪造水印图像 W_F , 隐秘图像 A_w 和嵌入算法 E , 无法逆向找到“原始图像 A_F ”. 即使通过伪造密钥 X_B 和 x_0 后修改“原始图像 A_F ”方法, 由于双数字水印的内容与原始图像相关, 解释攻击也无法进行.

同时, 双数字水印方案中将水印嵌入在规格化图像的特征点周围, 使得该数字水印方案能够抵抗常见的几何攻击和压缩变换, 具有一定的鲁棒性.

使用 $128 * 128$ 大小的图像“lenna”进行实验. 实验结果表明, 该算法具有较好的抗攻击能力.

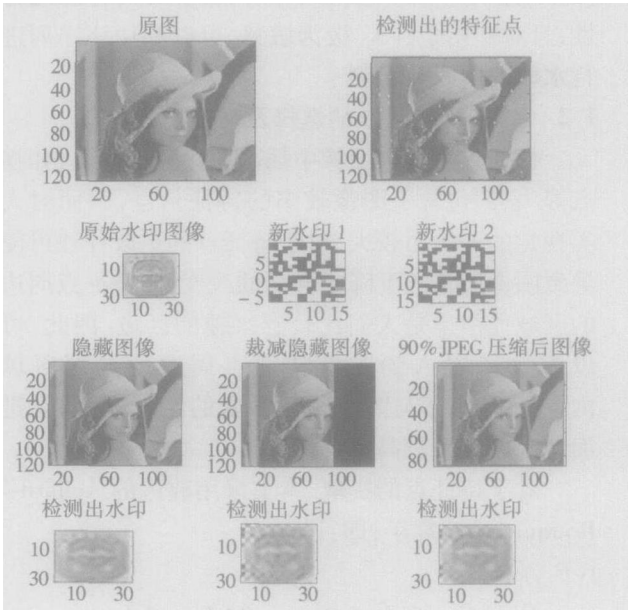


图 3 部分实验结果

3 结束语

对于数字水印来说, 为了达到较好的安全性和鲁棒性, 必须有较好的水印结构和水印嵌入策略. Cox 等提出了强壮水印算法的几个重要原则: 首先水印信号应该嵌入源数据中对人感觉最重要的部分. 其次, 水印信号应该由具有高斯分布的独立的分布随机实数序列构成^[1].

对此, 本文将混沌序列和特征点结合起来, 利用混沌序列的不可逆特性, 构造了一种双数字水印方案. 该方案将水印嵌入在图像特征点的周围局部区域内, 并在水印的生成与嵌入中同时考虑了原始图像的内容, 具有较好地鲁棒性. 该方案能够从隐秘图案中提取出有意义的灰度图像, 并能较好的抵抗常见的稳健性攻击和解释攻击.

(下转第 56 页)

轮廓或边界分明的图像,颜色对的检索结果比加权颜色直方图算法明显要好.为研究改变相似度阈值对查全率和查准率的影响,进行多次实验,实验结果如表 1 所示.从表 1 可以看出,相似度阈值取得越高,查准率越高,查全率越低.

表 1 实验结果

相似度 阈值	查准率 /%		查全率 /%	
	加权颜色 直方图	加权 颜色对	加权颜色 直方图	加权 颜色对
0.7	60.4	64.6	65.8	70.4
0.8	62.9	67.6	64.3	68.1
0.9	73.7	82.2	60.5	65.4

6 结论

目前,基于内容的检索仍然是一个开放性的研究课题,其研究将涉及认知科学、人工智能、模式识别、图像处理和信息检索等多个领域.本文提出的图像检索算法可以初步实现基于内容的图像检索,实验结果表明可达到较好的检索效果.利用颜色直方图和颜色对特征来进行检索的缺点是丢失了图像颜色的空间信息,因此检索结果里可能会有颜色相似而内容不相似的图像.因此如何把颜色直方图

或颜色对与空间信息结合起来,是一个重要的研究方向.

[参考文献]

[1] Ma W Y, Deng Y ining Manjunath B S Tools for texture/color based search of images[A]. Human Vision and Electronic Imaging [C]. SPIE Int Conf San Jose CA. 1997, 3106: 496- 507

[2] Zhang H J Wu Y ianhua Zhong D i et al An integrated System for content-based video retrieval and browsing[J]. Pattern Recognition, 1997, 30(4): 643- 657.

[3] Swain M J Ballard D H. Color Indexing[J]. International Journal of Computer Vision, 1991, 7(1): 11- 32

[4] 伯晓晨,刘建中.基于颜色直方图的图像检索[J].中国图像图形学报,1999,4(1): 33- 37

[5] Jain A. K, Vailaya A. Image retrieval using color and shape[J]. Pattern Recognition 1997, 29 (8): 1233 - 1244

[6] Flickner M, et al. Query by image and video content The QBIC System[J]. IEEE Computer 1995, 28(9): 23 - 32

[责任编辑:刘健]

(上接第 52 页)

但该方案中,参数 a_2, a_1 的选取依赖于图像的水印嵌入容量,且在各个嵌入区域相同.进而对于水印嵌入容量局部不均匀的图像,其效果受到一定的影响.对此,可以在水印的嵌入算法中依据图像特征点周边的局部特征,分别选择取不同数目的中频数构造嵌入矩阵 A 与 B ,从而使上述问题得到一定程度的解决.

[参考文献]

[1] 王丽娜,于戈,王国仁.基于混沌特性改进的小波数字水印算法[J].电子学报,2001,29(10): 1424 - 1426

[2] 管业鹏,顾伟康.二维图像特征点自主提取算法研究[J].传感技术学报,2004 (3): 70- 73

[3] 黄先胜,石青云.局部化数字水印算法[J].中国图形图像学报,2001,6A(7): 642- 647.

[4] 孙鑫,易开洋,费敏锐.一种基于图像特征区域的数字水印系统[J].计算机工程与应用,2002 (23): 88 - 89

[5] Bas P, Chassery J M, Macq B Robust watermarking based on the warping of pre-defined triangular patterns [J]. IEEE Transactions on Image Processing 2004, (1): 90- 103

[6] 喻志强,叶豪盛,赵荣椿,等.稳健的三角形网格数字水印技术[J].计算机应用,2002,22(9): 94- 96

[7] Adas A. Traffic models in broadband network[J]. IEEE Communications Magazine, 1997, (7): 82- 89.

[8] Masoud A ghonien y, Ahmed H Tewfik. Geometric invariance in image watermarking[J]. IEEE Transactions on Image Processing 2004, (2): 88- 91.

[9] 杨文学,赵耀.抵抗仿射变换攻击的多比特图像水印[J].信号处理,2004 20(6): 245- 250

[责任编辑:刘健]