

一种基于 DCT 和 SVD 的数字图像水印技术

刘 锋, 孙林军

(浙江大学宁波理工学院 信息科学与工程分院, 浙江 宁波 315100)

(bigmountain@nit.net.cn)

摘 要:以离散余弦变换(DCT)、矩阵奇异值分解(SVD)为基础,提出一种数字水印算法,主要特点就是所嵌入的水印图像是灰度图像,增加了嵌入的信息量,能够满足数字水印系统的透明性和鲁棒性要求。实验结果表明:该算法不仅具有较好的透明性,而且对如叠加噪声、JPEG 压缩、中值滤波、低通滤波、对比度增强攻击均具有很好的鲁棒性。

关键词:数字水印;离散余弦变换;奇异值分解

中图分类号:TP309.7 **文献标识码:**A

Watermarking algorithm for digital image based on DWT and SVD

LIU Feng, SUN Lin-jun

(Department of Information Science and Engineering, Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, Ningbo Zhejiang 315100, China)

Abstract: A watermark algorithm for digital image based on DWT and SVD was proposed. It added gray images as the watermark and increased information capacity of the watermark. The algorithm can satisfy the transparency and robustness of the watermark system. The experiment based on this algorithm demonstrates that the watermark is robust to the common signal processing techniques including JPEG compressing, noise, low pass filter, median filter, contrast enhance.

Key words: watermark; DCT; SVD

0 引言

数字水印一般分为三类:可见水印;不可见_易损水印、不可见_稳健水印。第三种即人们通常使用的数字水印,要求所嵌入水印不可见且对于常用信号处理方法有稳健性,同时要求嵌入水印信息后的原始数据信息不会引起质量上的明显下降。目前的水印算法多种多样,按嵌入方式可以分为两类:一种方法是直接将水印信息叠加到图像的空域上;另一种是先将图像做某种变换(如 DCT、DFT、DWT 等),然后再将水印信息叠加到变换后的频域上,最后通过相应的反变换来得到嵌入水印信息的图像。一般情况下,变换域方法更加优越一些。其中,由于 DCT 域的方法计算量较小,且与国际数据压缩标准(JPEG、MPEG、H261/H263)兼容,便于在压缩域中实现,故用得较多。

水印的不可见性和稳健性是水印的两个基本要求,经过几年的研究,数字水印技术取得了很大的进展,出现了很多基于 DCT 变换的优秀算法,但是,在这些算法中,水印信息一般是随机信号或者是二值信号,对于以二维灰度图像为水印信息的算法不多,这主要是因为数据量太大,难于保证嵌入信息的鲁棒性。本文根据上述出现的特点,提出了一种基于离散余弦变换和奇异值分解的具有很强鲁棒性的灰度水印嵌入算法。

1 离散余弦变换

DCT 是数字图像处理以及信号处理常用的一种正交变换,具有压缩比高、误码率小、信息集中能力和计算复杂性综合效果较好等优点,是图像编码的核心技术之一。二维离散

DCT 变换及 IDCT 反变换公式如下:

$$F(u, v) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} C(u) C(v) f(i, j) \times \cos\left[\frac{\pi(2i+1)u}{2N}\right] \cos\left[\frac{\pi(2j+1)v}{2N}\right] \quad (1)$$

逆向 DCT 变换:

$$f(i, j) = \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} C(u) C(v) F(u, v) \times \cos\left[\frac{\pi(2i+1)u}{2N}\right] \cos\left[\frac{\pi(2j+1)v}{2N}\right] \quad (2)$$

其中:

$$C(u), C(v) = \begin{cases} \sqrt{1/N} & u, v = 0 \\ \sqrt{2/N} & u, v = 1, 2, \dots, N-1 \end{cases}$$

图像二维 DCT 变换(N 取 8 或 16)有许多优点:图像信号经过变换后,变换系数几乎不相关,经过反变换重构图像,信道误差和量化误差将象随机噪声一样分散到块中的各个像素中去,不会造成误差累积;并且变换能将数据块中的能量压缩到为数不多的部分低频系数中去(即 DCT 矩阵的左上角)。

对于给定图像 $f(m, n)$ 存在两种 DCT 变换方法,一种是把图像 $f(m, n)$ 看成一个二维矩阵,直接对其进行 DCT 变换,然后嵌入水印,文献[1]采用此种方法。另一种方法是与 JPEG 压缩标准相统一,先把图像分成 8×8 的不同小块,再分别对每一块进行 DCT 变换,进而嵌入水印。本文采用后一种方法嵌入水印。

2 奇异值分解

从图像处理的角度来看,奇异值分解具有以下主要特

性:一幅图像的奇异值具有相当好的稳定性,也就是说,当图像受到轻微的扰动时,它的奇异值不会发生剧烈的改变;奇异值能够表现出图像内在的代数特性。

2.1 数字图像的奇异值分解^[4]

从线性代数的角度看,一幅图像可以看成是一个非负矩阵。若一幅图像用 A 表示定义为 $A \in R^{n \times n}$, 其中 R 表示实数域。则矩阵 A 的奇异值分解定义如下:

$$A = USV^T \quad (3)$$

其中 $U \in R^{n \times n}$ 和 $V \in R^{n \times n}$ 均为正交阵, $S \in R^{n \times n}$ 为对角阵,上标 T 表示矩阵转置。

2.2 水印的嵌入和检测

SVD方法的基本原理是将水印嵌入到图像矩阵的奇异值中。在水印的嵌入过程中先做 $n \times n$ 图像矩阵 A 的奇异值分解,得到两个正交矩阵 U 、 V 及一个对角阵 S 。水印 $W \in R^{n \times n}$ 被叠加到矩阵 S 上,对新产生的矩阵 $S + \alpha W$ 进行奇异值分解,

得到 U_1 、 S_1 和 V_1 ($S + \alpha W = U_1 S_1 V_1^T$), 其中常数 $\alpha > 0$ 调节水印的叠加强度。然后将矩阵 U 、 S_1 和 V^T 相乘,得到处理后的包含水印的图像 \hat{A} 。即如果矩阵 A 和 W 分别表示原始图像矩阵和水印,那么通过以下的三个步骤得到水印图像 \hat{A} :

$$A \Rightarrow USV^T \quad (4)$$

$$S + \alpha W \Rightarrow U_1 S_1 V_1^T \quad (5)$$

$$\hat{A} \Leftarrow U S_1 V^T \quad (6)$$

在水印的检测过程中,如果给出矩阵 U_1 、 S_1 、 V_1 和可能损坏的水印图像 A^* , 那么通过简单的逆过程就可以提取出可能已经失真的水印 W^* , 即:

$$A^* \Rightarrow U^* S_1^* V^{*T} \quad (7)$$

$$D^* \Leftarrow U_1 S_1^* V_1^T \quad (8)$$

$$W^* \Leftarrow \frac{1}{\alpha} (D^* - S) \quad (9)$$



图1 检测结果

3 水印嵌入算法

(1) 对原始灰度图像 $I(512 \times 512)$ 按照 8×8 的大小进行分块, 然后对每一块进行离散余弦变换, 取每一块经过变换得到的系数组成的矩阵 $F_{m,n} (1 \leq m \leq 64, 1 \leq n \leq 64)$ 的第一个值 $F_{m,n}(1,1) (1 \leq m \leq 64, 1 \leq n \leq 64)$ 组成一个新矩阵 $A(64 \times 64)$ 。

(2) 对 A 按照(4)式进行奇异值分解, 得到 U 、 V 和 S 。

(3) 然后取灰度水印记为 $W(32 \times 32)$, 然后按照(5)式进行运算得到 U_1 、 S_1 和 V_1 , 再按照(6)式进行运算得到加入水印后的矩阵 $\hat{A} (64 \times 64) (\alpha = 0.1)$ 。

(4) 把 $F_{m,n}(1,1)$ 的值替换为矩阵 \hat{A} 中的值 $\hat{A}(m,n) (1 \leq m \leq 64, 1 \leq n \leq 64)$, 这样就把第一步中得到的矩阵 $F_{m,n} (1 \leq m \leq 64, 1 \leq n \leq 64)$ 变成了矩阵 $F_{m,n}^* (1 \leq m \leq 64,$

$1 \leq n \leq 64)$ 。

(5) 对变化后的矩阵 $F_{m,n}^* (1 \leq m \leq 64, 1 \leq n \leq 64)$ 进行离散余弦逆变换后就得到嵌入水印后的灰度图像 $I^* (512 \times 512)$ 。

4 水印检测算法

(1) 对嵌入水印后的灰度图像 $I^* (512 \times 512)$ 按照 8×8 的大小进行分块, 然后对每一块进行离散余弦变换, 取每一块经过变换得到的系数组成的矩阵的第一个值组成一个矩阵 $A^* (64 \times 64)$ 。

(2) 对 $A^* (64 \times 64)$ 按照(7)式进行奇异值分解, 得到 U^* 、 S_1^* 、 V^* 。

(3) 联合 U_1 、 V_1 和 S_1^* , 按照(8)式进行运算得到 D^* , 然后在按照(9)式, 就能提取出嵌入的灰度水印。

(下转第1947页)

$$\varepsilon = \iint_W [I_r(x+d) - I_t(x)]^2 \omega(x) dx \quad (2)$$

W 是目标区域, $w(x)$ 是窗函数。窗函数可以是需要来进行选择。

将 ε 运用拉格朗日法求极值, 得到下列方程:

$$\frac{\delta \varepsilon}{\delta d} = 0 \quad (3)$$

$$\text{即: } ZD = e \quad (4)$$

Z 是 2×2 的矩阵:

$$Z = \iint_W g(x) g'(x) w(x) dx \quad (5)$$

e 是 2×1 的矢量:

$$e = 2 \left(\iint_W [I_r(x+d) - I_t(x)]^2 \omega(x) dx \right) g \quad (6)$$

$$g = \begin{pmatrix} \frac{\delta}{\delta x} (I_r + I_t) \\ \frac{\delta}{\delta y} (I_r + I_t) \end{pmatrix} \quad (7)$$

应用 Newton-Raphson 迭代法求解方程(4)。

2 背景特征点集合的获取

RANSAC 算法是一种鲁棒性的参数估计方法。它的基本思想是, 首先根据具体问题设计出某种目标函数, 然后反复提取最小点集估计该函数中参数的初始值, 利用这些初始参数值把所有的数据分为所谓的内点(Inliers, 即满足估计参数的点)和外点(Outliers, 即不满足估计参数的点), 最后反过来用所有的内点来重新计算和估计模型的参数。RANSAC 算法和传统的优化方法的区别在于: 传统的方法首先把所有的数据点作为内点而计算出模型参数, 然后再计算内点和外点; RANSAC 最开始是利用部分数据作为内点得到初始值, 然后寻找数据集中所有别的内点。

为了求取背景特征点集合, 首先需要去取一段运动目标较少的阶段对算法进行训练。每帧按照 KLT 算法提取特征点组成特征点集合 $An[p1, p2, \dots, pn]$, 在下一帧图像中寻找与该特征点集合中每点对应的点 $An+1[q1, q2, \dots, qn]$ 。对应点间的运动由分析可知对应点间的运动大部分满足一个仿射运动模型, 因此可以采用 RANSAC 算法来提取仿射运动模型参数。对连续多帧(初步选取为连续 5 帧中大于 3 次)都划分为内点的可以认为是有效背景点, 可以用来估计背景的运动参数。

(上接第 1945 页)

5 实验仿真

为了验证该文所提算法的有效性, 作者在做仿真实验时用 Matlab 6.1 进行实验仿真, 所用的原始图像是灰度级为 256 级, 大小为 512×512 的 Lena 图像, 而所要嵌入的水印是灰度级为 256 级, 大小为 32×32 的 plane 图像。然后按照本文所提的水印嵌入算法和水印检测算法进行实验, 为了验证算法的鲁棒性又对利用该算法嵌入水印后的原始图像用高斯低通滤波、加入高斯噪声、椒盐噪声、进行中值滤波、对比度增强、JPEG 压缩等方式进行攻击, 然后用本文所提的水印检测算法进行检测, 所得结果如图 1 所示。

6 结语

提出了一种基于离散余弦变换和奇异值分解的新的灰度

仿射运动模型: I_t 帧 I_{t+1} 与帧之间的仿射运动模型为, 需要求解 a, b, c, d, f, h 六个参数。

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ax + by + f \\ cx + dy + h \end{bmatrix}$$

3 运动特征点判定

重新检测新图像中的特征点, 剔除和背景特征点集合距离相近的特征点。对所有的特征点找到在下一帧图像中的对应点。运动特征点集合投影到背景运动模型时得到的点和其实际对应点的偏差要比背景点大。设定一个阈值 H , 偏差大于 H 的可以认为是运动候选点。由于我们选用了仿射模型, 在求取对应点时采用了泰勒展开, H 不宜过大 ($H = 2$)。运动候选点同样才取了多帧校验的方法。

为了验证算法的正确性, 使用 VC++ 和 OpenCV 编写了整个算法实验程序。图 2 为实验结果图像。

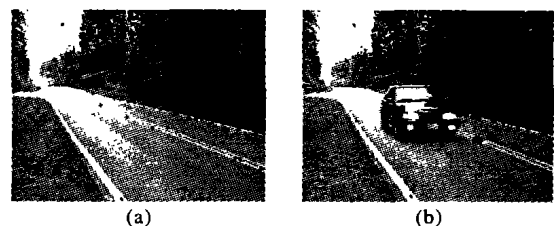


图2 实验结果

由此可见, 用此算法来估计运动背景参数是简单而高效的, 非常适用于实时处理。

参考文献:

- [1] BIRCHFIELD S. KLT: An Implementation of the Kanade-Lucas-Tomasi Feature Tracker [EB/OL]. <http://vision.stanford.edu/~birch/klf/>, 2005-01.
- [2] LINKÄOPING. Tracking by Image Processing in a RealTime System [D]. 2003.
- [3] JEAN-YVES BOUGUET. Pyramidal Implementation of the Lucas Kanade Feature Tracker [EB/OL]. <http://graphics.stanford.edu/courses/cs448a-00-fall/bouget00.pdf>, 2005-01.
- [4] Computer Vision Laboratory. Wallenberg laboratory on Information Technology and Autonomous Systems [EB/OL]. <http://www.isy.liu.se/cvl/Research/Robot/WITAS/index.html>, 2005-01.
- [5] SHI J, TOMASI C. Good features to track [A]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C]. 1994. 593-600.
- [6] 张迁, 刘政凯, 庞彦伟, 等. 基于 SUSAN 算法的航空影像的自动配准 [J]. 测绘学报, 2003, 32(3).

水印嵌入算法, 经过仿真实验可以看到, 该算法非常有效, 并且很好地满足了数字水印系统的透明性和鲁棒性, 能够经受住加入各种噪声、中值滤波、低通滤波、对比度增强以及 JPEG 压缩等方式的攻击。该方法对于在静态图像中加入数据量大的水印信息具有很好的可行性。

参考文献:

- [1] COX IJ, KILIAN J, LEIGHTON T, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(12): 1673-1687.
- [2] BARNI M, BARTOLINI F, CAPPELLINI V, et al. A DCT-domain system for robust image watermarking [J]. IEEE Signal Processing, 1999, 66(3): 357-372.
- [3] 黄继武, SHI YQ, 程卫东. DCT 域图像水印: 嵌入对策和算法 [J]. 电子学报, 2000, 28(4): 57-60.
- [4] 刘瑞楦, 谭铁牛. 基于奇异值分解的数字图像水印方法 [J]. 电子学报, 2001, 29(2).