文章编号: 1000-5862(2012)01-0099-03

一种基于 Contourlet 变换的自嵌入图像水印算法

张贵仓, 杨军彦, 秦　娜, 李　智

(西北师范大学数学与信息科学学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 在对 Contourlet 变换分析的基础上, 提出了一种基于 Contourlet 变换的自嵌入图像水印算法. 该算法利用奇异值分解方法提取图像的特征信息生成水印, 并将其通过量化的方法嵌入到图像的 Contourlet 域. 实验结果表明: 该算法具有较好的不可见性, 可区分非恶意操作和恶意操作, 并能对图像的篡改区域定位.

关键词: Contourlet 变换; 自嵌入; 图像水印; 奇异值分解

中图分类号: TP 391　　文献标志码: A

0　引言

数字媒体的知识产权保护和真实性、完整性的认证等问题成为人们关注的焦点, 推动了以知识产权保护和完整性认证为目标的数字水印技术的研究. 数字水印技术利用人的视听觉特性和媒体内容的冗余性, 有控制地将一些认证信息嵌入多媒体中, 以实现版权证明、完整性认证、拷贝控制等.

近年来人们开始把水印技术用于图像内容的认证. 图像内容认证技术分为基于脆弱水印的精确认证技术和基于半脆弱水印的选择认证技术2大类. 半脆弱水印技术对图像的一般性处理(如滤波、高品质的有损压缩等)表现出一定的鲁棒性, 对于篡改图像内容的操作(如复制、粘贴、裁剪等)具有较强的敏感性. 篡改发生时, 半脆弱水印认证系统不仅可以提供篡改的破坏量而且还可以检测篡改位置, 适合验证图像内容的真实性. 在实际应用中, 为了描述选择性认证系统, 人们将图像所受到的攻击分为非恶意攻击和恶意攻击. 图像遭到非恶意操作后, 认证系统应该能让图像通过认证; 遭到恶意攻击后, 图像则不能通过认证[1].

在过去的十几年里, 研究者们提出了许多半脆弱图像水印算法, 这些算法大致可以分为空域算法和变换域算法. 由于空域算法对非恶意操作的鲁棒性相对较差, 所以变换域的算法更符合实际应用的需求. J. Fridrich 等[2]提出了一种基于 DCT 的分块自嵌入脆弱水印算法, 该算法将图像分为互不相交的 8×8 的图像块, 对高 7 位变换得到的 DCT 系数按一定的码长量化编码后, 采用固定“偏移值”嵌入另一图像块的最低位, 从而在定位图像篡改块的同时, 还可以利用水印信息近似恢复被篡改图像块的内容. Lin Chingyung[3]利用 2 个 DCT 系数之间的 JPEG 压缩不变性来设计和隐藏认证信息. D. Kundur 等[4]提出一种基于 Haar 小波域的半脆弱水印技术, 根据不同分辨层对图像篡改的稳健性不同而设定不同的阈值来区分 JPEG 压缩和蓄意的篡改.

通过分析可知, 图像水印算法若采用自嵌入方法, 在认证时不需要原始图像和有关水印的附加信息, 这样可以提高水印的安全性和保密性. 此外, 由于奇异值对于一般的图像处理稳健性非常好[5-6], 因此由奇异值生成水印可以提高水印算法的鲁棒性.

本文提出了一种基于 Contourlet 变换的自嵌入图像水印算法. 该算法根据奇异值分解提取图像的特征信息生成水印, 并将其置乱加密后通过量化的方法嵌入到图像的 Contourlet 域, 水印提取时不需要原始图像, 可以实现盲提取.

1　Contourlet 变换

Contourlet变换[7-9]是利用拉普拉斯塔形分解LP (Laplacian Pyamid)和方向滤波器组DFB (Directional Filter Bank)实现的一种多分辨的、局域的、多方向的图像表示方法. 因此也可以称作金字塔型方向滤

收稿日期: 2011-10-06

基金项目: 甘肃省自然科学基金(0803RJZA109)和甘肃省科技攻关课题(2GS035-A052-011)资助项目.

作者简介: 张贵仓(1964-), 男, 甘肃天水人, 教授, 博士, 主要从事计算机辅助几何设计、图形学、数字水印等方面的研究.

波器组 PDFB(Pyramidal Directional Filter Bank). PDFB的整个过程为: 首先对图像进行LP变换和多尺度分析, 以捕获奇异点; 然后由方向滤波器组DFB将分布在同方向上的奇异点合成一个系数, 这种结构使得Contourlet具有较优的非线性逼近性能. 这一过程在粗糙图像上重复进行, 从而将图像分解为多尺度方向子带.

2 算法分析

2.1 水印的生成

在介绍水印生成方法之前, 先介绍矩阵的奇异值分解. 一幅灰度图像从线性代数的角度来看, 是一个具有非负值的矩阵. 假定这幅灰度图像用字母 $\boldsymbol{I}$ 来表示, $\boldsymbol{I}\in\mathbf{R}_{N\times N}$, $\mathbf{R}$ 表示实数域. 那么 $\boldsymbol{I}$ 的奇异值分解定义为 $\boldsymbol{I}=\boldsymbol{USV}^{\mathrm{T}}$, 其中 $\boldsymbol{U}$、$\boldsymbol{V}\in\mathbf{R}_{N\times N}$两者都为酋矩阵, $\boldsymbol{S}\in\mathbf{R}_{N\times N}$是对角矩阵, 其对角线上的元素满足 $\sigma_1\geqslant\sigma_2\geqslant\cdots\geqslant\sigma_r>\sigma_{r+1}=\cdots=\sigma_m=0$, 其中 r 为 $\boldsymbol{S}$ 的秩, 它等于非零奇异值的个数, σ_i 是由该分解唯一确定的, 叫作 $\boldsymbol{I}$ 的奇异值.

水印的生成过程描述如下: 首先对原始灰度图像作 4×4 大小的分块, 并对每个子块做奇异值分解, 记录分解后每块的第一个奇异值 $\boldsymbol{S}_i(1, 1)$ (i 表示块下标), 由 $\boldsymbol{S}_i(1, 1)$按空间位置组成矩阵 $\boldsymbol{A}$. 接着对得到的 $\boldsymbol{A}$ 按其元素的均值量化为二值矩阵 $\boldsymbol{w}'$. 在水印嵌入之前, 为了增强水印安全性, 对 $\boldsymbol{w}'$置乱. 这里采用 Arnold 变换对 $\boldsymbol{w}'$置乱, 得到待嵌入水印 $\boldsymbol{w}$.

2.2 水印的嵌入

对原始图像作 Contourlet 变换, 在低频子带嵌入水印 $\boldsymbol{w}$, 具体过程如下.

(1) 采用 Contourlet 变换对原始灰度图像进行 2 级拉普拉斯金字塔(Laplacian Pyramid, LP)变换和最精细子带 8 方向分解, 提取其低频逼近子图 cA1, 且满足 cA1 的大小与水印大小相同;

(2) 量化低频系数来嵌入水印, 量化值的计算公式为: $q=(\log 21\ 000E)/1\ 000+10$, 其中 E 为 Contourlet 低频子带能量值, 计算公式为 $E=\dfrac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}a(i,j)\times a(i,j)}{m\times n}$, $m\times n$ 为低频子带的大小, $a(i,j)$为低频子带系数;

(3) 根据水印信息, 改变 Contourlet 变换后的低频子带系数, 当水印比特为 1 时, $a(i,j)=(round\ (a(i,j)\div q)+1)\times q$, 当水印比特为 0 时, $a(i,j)=(round(a(i,j)\div q)-1)\times q$;

(4) 进行 Contourlet 逆变换得到含水印信息的图像.

2.3 数字水印提取及认证

水印提取过程, 不需要原始图像, 具体过程如下.

(1) 对含水印图像进行与水印嵌入阶段相同的 Contourlet 变换;

(2) 从 Contourlet 变换的低频子带提取水印: 若 $\mathrm{mod}(round(a(i,j)\div q),2)=1$, 则 $\boldsymbol{w}'(i,j)=1$; 否则, $\boldsymbol{w}'(i,j)=0$. 遍历低频子带所有系数, 得到未反置乱的水印 w';

(3) 利用置乱密钥对 $\boldsymbol{w}'$进行反置乱, 最后提取二值水印图像.

将提取的水印比特与生成的水印比特进行比较即得到水印差图, 水印差图被用于图像篡改区域的定位. 具体认证过程为: 首先判断 NC 值, 若 $NC\geqslant T$(T 为判定阈值), 就认为含水印图像通过认证, 否则含水印图像遭受了恶意攻击. 接着根据水印差图, 获知发生错误的水印比特, 并在图像的相应位置用灰度值 255 表示, 即用白点表示. 通过白点的多少和位置可以判断图像被篡改的程度和位置.

3 实验结果与讨论

为了评价水印算法的性能, 本文采用大小为 256×256、位深为 8 bit/pixel 的 Lena 灰度图像进行各种测试. 在 Matlab 仿真实验中, Contourlet 变换的 LP 采用“9-7”金字塔滤波器. Contourlet 变换的 DFB 采用“pkva”方向性滤波器. 对输入图像 Lena, 进行 2 级 LP 分解, 得到一个近似图像 $2\boldsymbol{I}$ 和 2 个带通子图像 1B、2B, 其中 1B 为最精细子带图像, 2B 为次精细子带图像. 然后, 分别对 1B、2B 进行 8 方向分解和 4 方向分解.

3.1 不可见性测试

实验时, 将量化参数取为初值 10 时, 提取的水印与原水印相比, 其 NC 为 1.00; 含水印图像与原始图像相比, 其 $PSNR$ 为 41.845 5, 说明嵌入水印后对图像的视觉质量影响小.

3.2 非恶意操作的鲁棒性测试

为了测试算法对非恶意操作的鲁棒性, 实验时对含水印图像进行了以下操作: Quality-50 的 JPEG 压缩处理, Quality-80 的 JPEG 压缩处理, 添加 0.001 的椒盐噪声, 添加 0.001 的高斯噪声, 高斯低通滤波, 均值滤波, 维纳滤波, 实验结果如表 1 所示.

表 1　含水印图在各种操作下实验结果统计

图像操作	*PSNR*	*NC*
QF=50 的 jpeg	32.822 2	1.000 0
QF=80 的 jpeg	32.822 1	1.000 0
‘salt&pepper’(0.001)	31.222 1	0.972 4
高斯低通滤波	30.766 8	0.812 7
均值滤波	29.578 1	0.833 4
维纳滤波	30.767 8	0.808 7
高斯噪声(0.001)	30.167 2	0.861 6
裁剪 1/4(左上角)	11.518 2	0.549 2
裁剪 1.56%	20.326 1	0.685 6
复制粘贴(修改 7.25%)	20.443 9	0.569 6

3.3　恶意操作的脆弱性测试

为了测试算法对恶意操作的脆弱性，实验时对含水印图像进行了以下操作：左上角裁剪掉原图的 1/4，裁剪原图的 1.56%，实验结果如表 1 和图 1 所示.

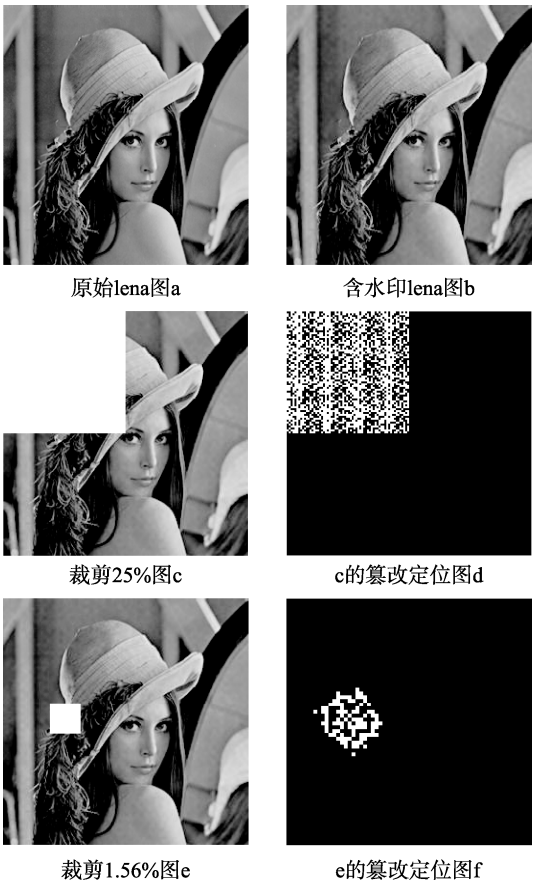

图 1　实验结果图

从表1可以看出，提出的算法对一般的图像处理鲁棒性较好(*NC* 值大于 0.7)，同时具有较好的不可见性；而对于破坏图像内容的恶意操作具有脆弱性. 实验中以 0.7 为 *NC* 的阈值，算法可对图像受到的噪声类型加以区分.

4　结论

本文提出了一种基于 Contourlet 变换的自嵌入图像水印算法. 该算法提取图像的特征信息来生成水印，并将水印置乱后通过量化的策略嵌入在图像的 Contourlet 域中. 一系列的实验结果表明：该算法具有较好的不可见性，能区分非恶意操作和恶意操作，可对被篡改的图像内容定位，能用于图像内容的选择性认证.

5　参考文献

[1] 吴金海，林福宗. 基于数字水印的图像认证技术 [J]. 计算机学报, 2004, 29(9): 1153-1161.

[2] Fridrich J, Goljan M. Image with self-correcting capabilities [EB/OL].[2011-09-12] http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=817228.

[3] Lin Ching yung. A robust image authentication method distinguishing JPEG compression from Malicious Manipulation [J]. IEEE Tran on Circuits and System of Video Technology, 2001, 11(2): 153-168.

[4] Kundur D, Hatzinakos D. Digital watermarking fortelltale tamper proofingand authentication [J]. Proc IEEE, 1999, 87(7): 1167-1180.

[5] 马燕，李竹林，许淳. 基于 SVD 的数字水印算法及相似性度量方法的改进 [J]. 江西师范大学学报：自然科学版，2007, 31(5): 467-470.

[6] Bouzidi A, Baaziz N. Contourlet domain feature extraction for image content authentication [EB/OL].[2011-10-13]http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=4064547.

[7] Do M N, Vetterli M. The contourlet transform: an effi-cientdi-rectional multiresolution image repressse-ntation [J]. IEEE Transac-tionson Image Processing, 2005, 14(12): 2091-2106.

[8] 欧阳迎春，江玉珍，杨群生. 基于四叉树的小波域图像零水印算法 [J]. 江西师范大学学报：自然科学版，2005, 29(6): 471-474.

[9] Do M N, Vetterli M. Contourlets: a new directional multiresolution image representation [J]. Signals, Systems and Computers, 2002, 1: 497-501.

(下转第 110 页)