一种基于 Bandelet 域变换的水印算法

黄惠芬
(山东英才学院,济南 250104)

摘要:在小波变换的基础上提出了 Bandelet 变换,可有效地处理高维直线或超平面奇异性问题是该变换的一个特点。基本思路为:采取 Bandelet 变换对原始图像和水印图像分别进行处理,然后排序迭加相应的 Bandelet 系数并嵌入水印信息,最后用 Bandelet 逆变换处理嵌入水印后的图像,继而得到嵌入水印后的图像。相关仿真实验证明,该算法对 JPEG 压缩、噪声、平滑滤波、剪切等图像失真处理方面具有较强的鲁棒性。

关键词:数字水印;鲁棒性;JPEG 压缩;Bandelet 变换
中图分类号:TS865;TS853^{+}.6 **文献标识码**:A **文章编号**:1001-3563(2011)21-0098-04

A Watermarking Algorithm Based on Bandelet Domain Transform

HUANG Hui-fen
(Shandong Yingcai University, Jinan 250104, China)

Abstract: Bandelet transform was put forward based on wavelet transform, which can effectively process high-dimensional line or a hyperplane singularity. The basic idea is that the original image and watermark image are Bandelet transform firstly, then the corresponding Bandelet factor for watermark embedding is sorted and added, and last the watermarked image is processed with Bandelet inverse transform to get the watermarked image. Simulation results showed that the algorithm has good robustness to noise, JPEG compression, shear, smooth filtering and other processing of image distortionh.

Key words: digital watermark; robustness; JPEG; Bandelet transform

基于变换域数字水印的算法之所以被应用到广泛的领域,因为在应对各种非法攻击时在鲁棒性方面的优异表现。DWT 变换具有的多分辨率特性与人体视觉感知特性有共通之处,该算法也在时频局部分析方面具备了较强的能力。与 DWT 这种传统方式相比较,从图像中提取的线性特征在 Bandelet 变换中体现出更高的有效性。笔者引入了分形思想,并在小波和 Bandelet 变换的鲁棒水印算法的基础上,设计、实现了新的算法,最终使该算法的理论分析和实验结果得以呈现。

1 Bandelet 变换

Bandelet 变换[1-3]是 E Pennec 和 S Mallat 于 2000 年提出的。Bandelet 变换提出了一种新的基于边缘的图像表示方法,且能自动地跟踪图像的几何正则方向。

先用二维小波变换处理图像,再选定一个区域 S,该区域被限定在某个高频子带的局部。把 S 内的小波系数重排,重排的方法是使用 Bandelet 化的过程,该重排针对不同的方向 d,结果得到各不相同的一维信号。方向 d 如果是合适的选择,对信号更加深入的稀疏就可在一维小波变换的基础上进一步实现;方向 d 如果是不正确的选择,量化后非零个数在经一维小波变换后显著减少的可能性不大。

综合考虑编码比特率与失真度 2 个方面因素,基于对图像压缩的考虑,使以下的 Lagrangian[4-5]函数取最小,应该是最佳几何流方向在区域 S 内的表现:

$$L(f_\theta,R)=\|f_\theta-\tilde{f}_\theta\|^2+\lambda\cdot T^2(R_g+R_b) \quad (1)$$

式中:一维信号 $\tilde{f}_\theta$ 是由量化后的 Bandelet 系数重构的;T 为量化阈值;编码几何流所需比特数为 R_g;Bandelet 系数所需比特数编码量化后表示为 R_b;

收稿日期:2011-09-20
作者简介:黄惠芬(1980—),女,山东人,武汉理工大学博士生,山东英才学院讲师,主要从事信息安全、数字水印等方向的研究。

λ 是 Lagrange 乘子，该乘子是在实验结果的基础上择优选取的，$\lambda=3/28$ 是 G. Peyre 在文献[6]中取的值。

取一小方块为对象，其尺寸为 $L\times L$，以 L^2-1 为基数将圆周角$[0,\pi)$进行等角度离散，则 θ 的取值可能为：

$$\theta=\frac{k\pi}{L^2-1}\quad (k=0,1,\cdots,L^2-2) \tag{2}$$

用 $\theta=\ln f$ 来标记无几何流的情况，该标记表示 Bandelet 化没有被实施。

均匀量化 Bandelet 系数。设 Bandelet 系数表示为 x；量化阈值为 T；则量化值 $Q(x)$为：

$$Q(x)=\begin{cases}0 & (|x|<T)\\ \operatorname{sgn}(x)\left(q+\frac{1}{2}\right)T & (qT\leqslant|x|<(q+1)T)\end{cases} \tag{3}$$

式中 $q\in Z$。把最底层的小方块的宽度设为 4 个像素，尺寸为 4×4，该算法的流程为。

1) 初始化：令 $L=4$。对每个 $L\times L$ 的方块 S，将最佳方向和相应的 Lagrange 函数 $L(S)$计算出来，令 $L_0(S)=L(S)$。

2) 令 $L\leftarrow 2L$，对每个 $L\times L$ 方块 S，将最佳几何流方向和相应的 Lagrange 函数 $L(S)$计算出来。

3) 尺寸为 $L\times L$ 的每个方块 S，用 S_1,S_2,S_3,S_4 来标记其 4 个孩子，Lagrange 函数值取自这 4 个孩子作为叶节点联合在一起的函数值：

$$\tilde{L}(S)=L_0(S_1)+L_0(S_2)+L_0(S_3)+L_0(S_4)+L_0(S)+\lambda T^2 \tag{4}$$

基于 4 个孩子作为叶节点联合在一起的要求，将最后一项 λT^2 添加到 $L_0(S)=L(S)$中，则必须编码其父节点，即增加 1 bit 到码流长里。

4) 令 $L_0(S)=\min\{L(S),\tilde{L}(S)\}$

5) 如果 $L<2^{j/2}$，令 $L\leftarrow 2L$，重复前面步骤 2)—4)。

6) 输出：四叉树分割的结果就是最终的 $L_0(s)$，同时输出的还有最佳几何流方向，该方向对应各叶节点对应的小方块。

最佳的分割高频子带的结果，由最终输出的四叉树来代表。

2　基于 Bandelet 域变换的水印算法

2.1　基于 Bandelet 的水印嵌入

以下为水印嵌入的整个过程。

1) 原始图像表示为 $M\times M$，水印的图像表示为 $N\times N(M=N^{2P},P$ 为自然数)。

2) 用 Bandelet 变换对水印图像进行处理，得到的 Bandelet 系数后，用该系数除以所有的系数均值。

3) 用 Bandelet 变换对原始图像做处理，用所有系数减去水印图像 Bandelet 系数的均值。

4) 排序得到的所有系数，以加法准则为准，将相应的水印 Bandelet 系数加在其中最大的系数上。

5) 进行 Bandelet 逆变换，方法是利用嵌入水印信息后的原始图像 Bandelet 系数，即可得到嵌入水印信息后的图像。

2.2　基于 Bandelet 的水印检测

水印提取是水印嵌入的逆过程。提取水印的过程中，原始载体图像不是必要的，仅需水印嵌入位置信息作为密钥。含有水印的图像 I'经 K 级 Bandelet 分解后，即可获得分解系数$B''^{K}(s,t)$[7-8]。

结合嵌入位置信息，当 $\mathrm{Flag}(s,t)=1$ 时，$N'=\mathrm{floor}(B_i''^{K}(s,t)/Q+0.5)$，提取水印遵循下面的规则：

$$w'(z)=\begin{cases}1 & (\mathrm{mod}(N,2)=1)\\ 0 & (\mathrm{mod}(N,2)=0)\end{cases} \tag{5}$$

转换提取到的一维序列为二维水印序列，就可得到提取的水印 w'。

3　仿真实验

采用 512×512 像素的标准测试图像 Lenna 为实验原始图像，数字水印采用 64×64 的二值图像。原始图像、未加任何处理的嵌入水印后的图像、水印图像以及取出的水印图像见图 1。

通过实验可知，对人的主体视觉感知来说，本算法具有很好的不可感知性。图像被嵌入水印后较载体图像峰值信噪比为 PSNR＝41.4516 dB。无攻击条件下，相关系数 NC 为 1。

1) 中值滤波。

水印图像被中值滤波处理后以及被提取出的水印，见图 2。从被滤波攻击后的结果来看，该算法具有较强鲁棒性。

2) 噪声分析。

对水印算法的较常见的攻击方式，就是加入噪声到嵌入水印的图像。逐一叠加高斯噪声(方差为 0.01)，椒盐噪声(噪声强度为 0.01)，水印提取的结果见图 3。

a 载体图像

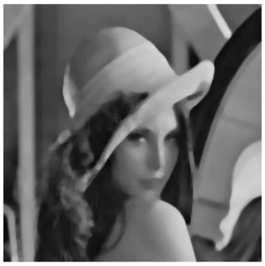
b 含水印图像

c 原始水印

d 无条件攻击下的水印提取

图 1 无攻击条件下水印的嵌入和提取结果

Fig. 1 Embedding and extraction of watermark without attacks



a 中值滤波处理后的图像

b 检测到的水印图像

图 2 中值滤波后的宿主图像及水印图像

Fig. 2 Host image and the watermark image after median filtered

图 3 抗高斯、椒盐和 Possion 噪声攻击的水印图像

Fig. 3 Watermark images after anti-Gaussian, salt and pepper, and Possion attack

由图 3 可知，被噪声攻击后，图像的视觉质量变得很差；另一方面，虽然图像质量变差，但水印图像仍可被人眼视觉所见，且水印信息依然可被提取到，0.96的高位也能在相关系数值 NC 上有所体现。

3）剪切分析。

通常情况下，部分图像在传送的过程中丢失的可能性很大，针对这种情况，测试在只剩余部分图像载体的状况下能否一样的检测出存在水印。剪切已嵌入水印的图像，剪切幅度为 1/4，1/2，检测结果见表 1。

表 1 经剪切处理的含水印图像及其检测到的水印图像

Tab. 1 Cut watermark containing image and the detected watermark images

Cut	1/8	1/4	1/2
含水印图像			
检测到的水印图像			

可以看出，不完整的宿主图象并不直接影响水印的检测。从实验结果可得出，水印信息在该算法中表现出强的隐蔽性，其在原始图像中均匀分布。

4）JPEG 压缩分析。

JPEG 压缩是应用较多的一种图像压缩方法，能经受住某种意义上的有损压缩是任一水印系统必备的能力之一，且在被压缩之后要求还能有效地提取出图像中的水印。在不同的压缩强度（压缩参数 QF）下，做水印的提取工作，通常的情况下，图像品质与压缩比呈现反比关系，即图像品质随压缩比的增大而变差，各压缩比下提取的水印以及原水印在图像归一化相似程度方面的表现见表 2。

表 2 Bandelet 域水印算法在 JPEG 压缩攻击下的 PSNR 和 NC 值

Tab. 2 PSNR and NC values of Bandelet domain watermarking algorithm under JPEG compression attack

品质因子	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%
PSNR	38.942 6	37.254 2	36.963 3	35.287 3	34.863 5	34.232 5	33.238 7
NC	0.954 2	0.824 2	0.792 4	0.772 2	0.742 6	0.721 9	0.680 2

由表 2 可见，被检测到的水印质量在 QF=40% 的情况时退化明显。当状况恶劣到 QF=30% 时，水印信息仍可被检测到，NC 达到 0.6802。实验表明，该算法在 JPEG 压缩攻击下仍有很强的抗衡能力。

4 结语

提出了一种基于 Bandelet 域的数字水印算法，该算法是在小波变换的基础上，融入人类视觉系统特点

而提出的。算法不采用将原始图像和水印图像的 Bandelet 系数直接迭加，而是对载体图像的 Bandelet 系数进行预处理，再进行水印的嵌入，嵌入时遵循了加法准则。通过实验得知，该算法在抗衡剪切、中值滤波、加噪和 JPEG 压缩等常见攻击时，具有较强的鲁棒性。

参考文献：

[1] 李光. 包装机械模块化设计的研究[J]. 包装工程，2002，23(4)：172－175.

[2] TZENG J，HWANG W-L，CHERN I-L. Enhancing Image Watermarking Methods With/without Reference Images by Optimization on Second-order Statistics[J]. IEEE Trans On Image Processing，2002，11(7)：771－782.

[3] CHENG Q，HUANG T S. Optimum Detection and Decoding of Multiplicative Watermarks in DFT Domain [J]. IEEE Int，1 Confenrence on Acoustic，Speech，and Signal Processing，2002，4：3477－3480.

[4] NIKOLAIDIS A，PITAS I. Optimum Detector Structure for DCT and Subband Domain Watermarking[C]. Proc IEEE International Conference on Image Processing，Rochester NY，USA，2002(3)：465－468.

[5] PODILCHUK C I，ZENG W. Image-adaptive Watermarking Using Visual Models[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communication，1998，16(4)：525－539.

[6] XIA M，LIU B. Effect of JPEG Compression on Image Watermark Detection[J]. IEEE Conference on Acoustics，Speech，and Signal Processing，Salt Lake City，UT，May 2001，3：1981－1984.

[7] FRIDRICH J，GOLJAN M，Baldoza A C. New Fragile Authentication Watermark for Images[C]. Proc ICIP，Vancouver，Canada，2000：446－449.

[8] NOPPORN，SANGIAMKUN W. Digital Watermarking Technique for Image Authentication by Neighboring Block Similarity Measure[J]. Proc IEEE Region 10 International on Electrical and Electronic Technology，2001，2：734－747.

（上接第 78 页）

系统加料达到设定值时，微调进料阀会自动关闭，由于从加料口到煤品称量斗之间有一段距离，会导致部分物料可能落入包装袋中，使系统的设定值会小于实际包装值；同时在加料装袋过程中，煤粉的冲击、系统的振动，会造成包装质量瞬时增加，会造成过冲量现象。实际加料量等于微调进料加上过冲量。为了使过冲量能自动校正，系统特采用负反馈偏差控制技术。基本原理是根据上次装袋的误差来调整本次称量计量过程中产生的过冲量，称量值与目标值的偏差通过微进料阀门开关时间来调整，用以提高定量包装的精确度[10]。

4　结论

通过以上论述，完成了样品煤定量包装控制系统的设计。其特点在于结构简单、设备维护方便、可提高采样的随机性、计量准确，较好地满足了样品煤定量包装的要求，以 PLC 及其相关的仪表作为执行驱动器件，使系统可自动运行。实现了高效的 PLC 和变频器的通讯、零点漂移自整定和过冲量自整定等功能；对各种粉状或颗粒类物品的包装具有借鉴和推广价值，最大限度地满足了用户的不同工艺要求。在 1 年的现场试验中，系统的各项性能指标稳定可靠。

参考文献：

[1] 吴文君. 饲料称量和自动包装中的 PLC 控制[J]. 包装工程，2006，27(3)：87－89.

[2] GB 475－1996，商品煤样采取方法[S].

[3] 刘乘，李晓刚. PLC 在包装机械上的应用[J]. 包装工程，2004，25(2)：51－53.

[4] 江庆. 基于 STC89 单片机的粉状物料定量称重控制器设计[J]. 包装与食品机械，2008，26(1)：24－27.

[5] 郑月珍. 旋转机械振动检测和分析[J]. 燃气轮机技术，2010，23(1)：39－44.

[6] 张万圭. 机床电气控制技术[M]. 北京：北京大学出版社，2006.

[7] 朱顺强，王良. 一种实现粉盐精确定量包装的简便方法[J]. 盐业与化工，2007，36(2)：46－47.

[8] 孙虎儿. 小杂粮自动定量包装自动控制系统的设计[J]. 包装工程，2008，29(12)：81－82.

[9] 毛谦敏. 单片机控制的定量包装系统[J]. 包装工程，1999，20(3)：53－55.

[10] 樊斌. 红外传感器应用时的自动零位跟踪[J]. 传感器技术，2001，20(10)：22－23.