

基于排序和去噪的广义差值扩展可逆水印

常志国¹, 徐 健²

(1 长安大学 信息工程学院, 陕西 西安 710064; 2 西安邮电大学 通信与信息工程学院, 陕西 西安 710121)

摘 要: 针对可逆水印中常用的位置图的两点不足: 占用大量空间和压缩处理成本高, 提出了一种不使用位置图的大容量可逆水印算法. 首先将宿主图像分块; 然后计算每个像素块的平滑度近似值, 该值在水印信息嵌入前后保持不变; 依据平滑度近似值对像素块进行稳定的升序排序; 最后, 根据信息隐藏量的大小, 按照排序选取适当数量的像素块, 滤除像素块中的差值噪声, 利用广义差值扩展嵌入水印. 实验结果表明在相同 PNSR 下, 该算法的信息隐藏量高于同类算法.

关键词: 信息隐藏; 可逆水印; 可逆数据嵌入; 广义差值扩展

中图分类号: TP319

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)10-0113-04

Reversible Watermarking Algorithm of General Difference Expansion Based on Sort and De-noise

CHANG Zhi-guo¹, XU Jian²

(1 School of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2 School of Communication and Information Engineering, Xi'an University of Posts & Telecommunications, Xi'an 710121, China)

Abstract: The location map used in reversible watermarking has two disadvantages. Firstly, the size of the compressed location map is large. Secondly, compression of location map consumes lots of computation. A reversible watermarking scheme of high payload is proposed without location map. The host image is divided into blocks, the smooth degree of each block is computed, which is unchanged after data embedding, according to the smooth degree all blocks are sorted, noised blocks are filtered, watermark is embedded into the selected blocks with the general difference expansion. The experimental results show the proposed method can conceal more information than other methods at the same PNSR.

Key words: information hiding; reversible watermarking; reversible data embedding; general difference expansion

1 引言

可逆水印是将信息无损嵌入宿主图像的一种技术, 既是一种信息隐藏手段, 也可用于图像完整性认证^[1-2]. 可逆水印广泛应用于对宿主图像完整性要求比较高的场合, 如: 军事图像、医疗图像、法庭举证图像等.

早期可逆水印的信息隐藏量较小, 近年来, 国内外学者提出了多种大容量可逆水印算法. Tian^[3]利用像素对差值扩展, 将 1 比特信息嵌入扩展后的差

值中, 信息隐藏量得到了很大提升. Alattar^[4]在 Tian 的基础上归纳出广义差值扩展, 作用于相邻的多个像素上, 可获得比像素对差值扩展更高的信息隐藏量. Thodi 等^[5]使用压缩算法中常见的一种简单预测算子预测图像的像素值, 将有用信息嵌入扩展后的预测误差中, 该方法可获得近 1bpp 的信息隐藏量. Chang 等^[6]将图像进行分块, 同时考虑纵横两个方向上像素对的差值, 以块为单位进行水印嵌入, 相比 Tian 的算法可以嵌入更多的水印信息. 以上算法^[3-6]均采用位置图标记水印嵌入位置, 压缩后

的位置图仍占用很大的空间,严重影响信息隐藏量.

许多算法修正了位置图的不足. Chang 等^[7]分析像素对差值直方图,修改位置图表示规则,提高了有效信息隐藏量. Kamstra 等^[8]依据水印嵌入前后像素对中值保持不变的特性,利用平滑度近似值排序标识水印嵌入位置,提升了信息隐藏量. Thodi 等^[9]将直方图调整引入可逆水印算法中,通过调整像素对差值标记水印嵌入位置,取得了很好的效果.

本文在前期研究基础上,系统分析了基于排序和去噪的广义差值扩展可逆水印,差值噪声滤除采用了新的门限值选取策略. 通过与常见算法比较,充分验证了算法的有效性.

2 广义差值扩展

广义差值扩展充分利用图像局部区域内像素点相似度高的特点,选取相邻多个像素点嵌入水印,在相同 PSNR 下,信息隐藏量高于像素对差值扩展. 在水印嵌入阶段,本文采用广义差值扩展对选取的像素块进行水印嵌入.

广义差值扩展以广义整数变换为理论基础, $X = (x_0, x_1, x_2, \dots, x_{n-1})$ 表示图像中的一组相邻像素值,它的广义整数正变换为

$$\bar{x} = \left[\frac{\sum_{i=0}^{n-1} a_i x_i}{\sum_{i=0}^{n-1} a_i} \right] \quad (1)$$

$$\begin{aligned} d_1 &= x_1 - x_0, \quad \dots \\ d_{n-1} &= x_{n-1} - x_0 \end{aligned} \quad (2)$$

反变换为

$$x_0 = \bar{x} - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n-1} d_i}{\sum_{i=0}^{n-1} a_i} \right] \quad (3)$$

$$\begin{aligned} x_1 &= x_0 + d_1, \quad \dots \\ x_{n-1} &= x_0 + d_{n-1} \end{aligned} \quad (4)$$

3 像素块平滑度近似值计算

位置图替代方法需满足两个基本要求:(1)具有标记水印嵌入位置功能;(2)水印嵌入对标记信息的精确恢复无影响. 依据上述目标,本文将宿主图像进行分块(如图 1 所示),构造了反映像素块平滑度的近似函数.

图 1 中 X_0 为当前像素块, X_1, X_2, X_3, X_4 为其相邻像素块, X_0 的平滑度近似函数为

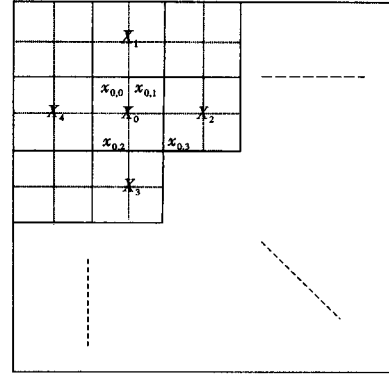


图1 宿主图像被划分成 2×2 像素块

$$\rho(X_0) = \frac{\sum_{i=0}^4 (\bar{x}_i - \bar{X})^2}{5} \quad (5)$$

式中, $\bar{x}_0, \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$ 和 $\bar{x}_4$ 分别为 X_0, X_1, X_2, X_3 和 X_4 的块内像素均值,可由式(6)计算,

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=0}^3 x_{i,j}}{4} \quad (6)$$

$\bar{X}$ 为 $\bar{x}_0, \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$ 和 $\bar{x}_4$ 的均值,

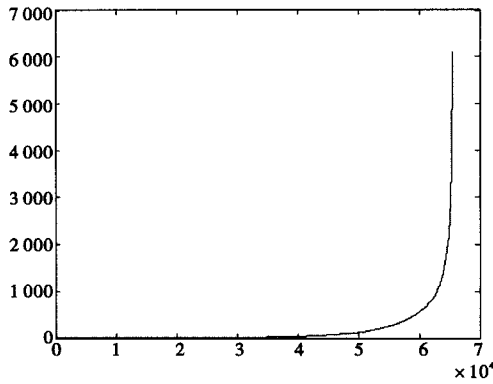
$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=0}^4 \bar{x}_i}{5} \quad (7)$$

用广义差值扩展向分块内嵌入水印信息前后,块内像素均值 $\bar{x}_i$ 保持不变,所以利用式(5)计算出的像素块平滑度近似值在水印嵌入前后具有不变性,此不变性确保了宿主图像可以被完全恢复.

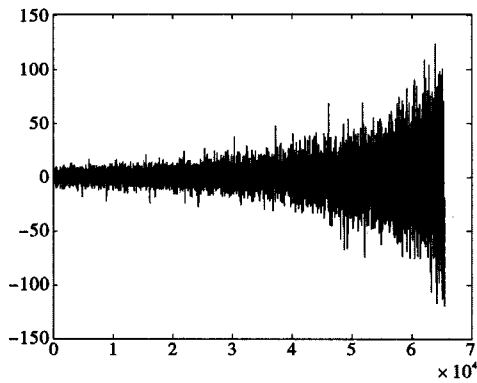
4 水印嵌入像素块选取

一般地,图像局部区域内像素间差值越小,采用广义差值扩展嵌入水印信息后所导致的失真越小,可优先选取和嵌入水印;局部图像内像素间差值越大,则向其中嵌入水印会引起较大的失真. 式(5)中计算出的平滑度值是块内像素间差异的近似估计. Lena 图像中像素块升序排序后,平滑度近似值和块内 $d_1 = x_1 - x_0$ 差值的分布如图 2 所示. 宏观上,排序后的差值从小到大变化;微观上,差值层次不齐,存在大量突变,本文称其差值噪声,直接根据上述排序选择像素块进行水印嵌入不太合适,应对差值噪声进行过滤处理.

式(8)中反映了门限值 T 与像素块数目 N_T 之间的关系. 门限值的选取至关重要. T 较小,导致适合嵌入水印信息的分块数目减少,影响信息隐藏量; T 较大,导致大量差值噪声存在,图像失真严重.



(a) 平滑度值分布



(b) d1 分布图

图2 Lena 图像像素块平滑度近似值排序
与块内 d1 差值分布图

$$N_T = \alpha \parallel \{X \mid |d_{\text{opt}}| \leq T\} \parallel \quad (8)$$

d_{opt} 表示 d_1, d_2, d_3 三类差值中符合 $|d_i| \leq T$ 的差值数量最多的那一类。 α 为权重系数,取值大于 1。 N_T 表示门限值为 T 时,所选取的待嵌入水印信息的像素块数目。随着 T 的增大, N_T 也增大,最终为总的像素块数目。

T 与 N_T 确定后,可利用式(9)向像素块中嵌入水印信息:

$$d'_i = \begin{cases} 2 \times d_i + m_i, & |d_i| \leq T \\ d_i + T + 1, & d_i > T \\ d_i - T, & d_i < -T \end{cases} \quad (9)$$

式中, m_i 为 1 比特的水印信息, d'_i 为水印嵌入后的差值。

5 水印嵌入及提取

(1) 水印信息嵌入过程

第一步:将宿主图像分成 2×2 大小的像素块;

第二步:通过式(5)计算各分块的平滑度近似值,依据平滑度近似值对图像中所有分块进行稳定的升序排序;

第三步:结合待嵌入水印信息量,确定 T 与 N_T ,滤除差值噪声,用式(9)向宿主图像中嵌入水印信息。对于经差值扩展后会超出图像灰度值范围的像素块,在稀疏溢出图中进行标注;

第四步:对溢出图进行压缩处理,将它和信息隐藏量等辅助信息嵌入到宿主图像中。

(2) 水印信息无损提取:

第一步:将包含水印信息的图像分成 2×2 大小的像素块;

第二步:提取辅助数据,解压缩溢出图,获取溢出位置信息;

第三步:利用式(5)计算各分块的平滑度近似值,根据平滑度值对所有分块按照升序进行稳定排序;

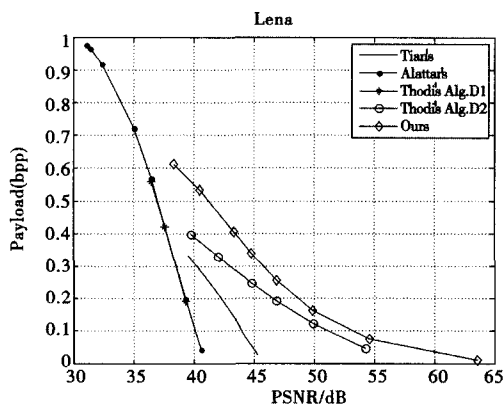
第四步:根据水印隐藏量信息,从图像块中恢复水印信息。

6 实验结果分析

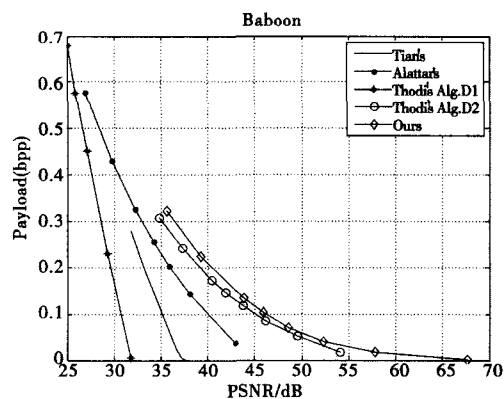
在多幅 $512 \times 512 \times 8$ -bit 大小标准测试图上,将本文算法与常见可逆水印算法进行了对比实验。实验选取一组伪随机数序列充当水印信息,去除差值噪声时,权重系数 $\alpha = 1.1$, PSNR 反映图像的客观失真度, bpp(bit per pixel) 为信息隐藏量单位。实验结果表明:在同等失真情况下,基于排序和去噪的广义差值扩展可逆水印拥有更大的信息隐藏量(图3)。对于具有丰富纹理的图像,平滑度近似值的误差较大;对于低频成分较多的图像,平滑度近似值能较好反映图像局部平滑度。Lena 图像的高频成分少于 Baboon 图像,因此根据平滑度近似值排序筛选出的像素块在嵌入信息后引起失真较小。PSNR 相同情况下, Lena 图像可以嵌入更多的信息。

7 结束语

Tian, Alattar 和 Thodi's Alg. D1 使用位置图来标识水印嵌入位置,严重影响了有效信息隐藏量,基于排序和去噪的广义差值扩展可逆水印明显优于这 3 种算法。本文所提算法滤除差值较大的噪声块,避免了它引发的显著图像失真,性能亦优于未使用位置图的 Thodi's Alg. D2 算法。



(a) Lena



(b) Baboon

图3 信息隐藏量与失真对比图

参考文献:

- [1] 吴晓云,胡建军. 用于图像认证的安全可逆水印算法[J]. 微电子学与计算机, 2010 27(9): 37-39.
- [2] 常志国. 可逆水印与图象保护技术研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- [3] Tian J. Reversible data embedding using a difference expansion [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(8): 890-896.
- [4] Alattar A M. Reversible watermark using the difference expansion of a generalized integer transform [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(8): 1147-1156.
- [5] Thodi D M, Rodriguez J J. Prediction-error based reversible watermarking [C] // Proceedings of 2004 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2004). Singapore: IEEE, 2004: 1549-1552.
- [6] Zhiguo Chang, Jian Xu, Weidong Kou. Reversible watermarking schemes using spatial quad-based difference expansion [C] // Proceedings of International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology, 2008: 522-525.
- [7] Zhiguo Chang, Jian Xu, Weidong Kou. More compressible location map for reversible watermarking using expansion embedding [J]. IET Electronics Letters, 2007 43(24): 1353-1354.
- [8] Kamstra L, Heijmans H. Reversible data embedding into images using wavelet techniques and sorting [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(12): 2082-2090.
- [9] Thodi D M, Rodriguez J J. Expansion embedding techniques for reversible watermarking [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(3): 721-730.

作者简介:



常志国 男, (1976—), 博士, 讲师. 研究方向为数字水印、模式识别、智能交通.