

文章编号 : 1672-2892(2010)01-0058-05

一种基于差值扩展大容量可逆信息隐藏新算法

陈康康, 王建军

(复旦大学 电子工程系, 上海 200433)

摘 要: 在保证图像质量的前提下, 为了提高可逆信息隐藏的容量, 提出了一种基于差值扩展的可逆信息隐藏新算法。该方法通过差值直方图平移, 将由阈值 T 确定的特定区间外的一部分差值平移到该区间内, 同时仅对属于该特定区间的差值进行定位图标注, 从而不仅增大可嵌入信息的总量, 而且得到远小于现有方法的定位图。特别是在阈值 T 较小的情况下, 效果更加明显。实验表明, 该算法在保持图像低失真的前提下, 与其他算法相比较, 取得了较大的信息嵌入量。

关键词: 可逆信息隐藏; 差值扩展; 差值直方图平移; 无损压缩

中图分类号: TN911.73; TP391

文献标识码: A

A novel reversible data hiding technique using difference expansion

CHEN Kang-kang, WANG Jian-jun

(Department of Electronic Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: A new reversible data hiding technique based on difference expansion was proposed. Its main idea was that some difference values which were outside the interval defined by the threshold T were shifted into the interval. A location map was created for the difference inside this interval. The proposed method could not only achieve high embedding capacity but also have smaller location map than other methods. The method was more effective especially while the threshold was small. Experiment results showed that our proposed method had better performances than other methods in terms of high embedding capacity and low distortion.

Key words: reversible data hiding; difference expansion; difference histogram shift; lossless compression

信息隐藏技术作为数字图像认证的重要手段广泛应用于版权、知识产权保护中, 如文献[1-3]所述。而在医学图像、军事图像和法庭取证等这些对于原始图像失真极其敏感的领域, 应用传统的信息隐藏方法还原的图像总存在着失真。针对这一问题, 文献[4]首次提出了可逆信息隐藏的概念。当嵌入的信息被提取后, 原始图像可无失真地还原。此后, 文献[5]提出将信息嵌入到图像某些特征经压缩后所得的剩余空间中。文献[6]提出了一种广义的最低有效位(Least Significant Bit, LSB)可逆信息隐藏嵌入方法。Ni 等人近期在文献[7]中提出了将信息嵌入到图像的直方图中, 取得了较高的峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR), 但是嵌入的信息较少。文献[8]提出了差值扩展的方法, 在保持低失真图像的同时, 大大提高了可嵌入的信息量, 并对之后的可逆信息隐藏技术的发展产生了重要影响。文献[9]基于差值扩展, 提出利用像素对低频部分与高频部分的相关性以及定位图来嵌入信息以达到比较好的嵌入效果。文献[10]改进了差值扩展的方法, 引入了可移动(shiftable)差值概念, 在几乎不降低图像质量的前提下扩大了信息嵌入容量, 特别是在多重嵌入情况下, 效果好于文献[6]。已有差值扩展的方法, 必须对每个差值在定位图中标注以作为接收端还原原始图像的重要依据。而本文提出的基于差值扩展新算法, 根据阈值 T 确定的特定差值区间 $\left[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}\right)$, 仅对于原本属于该区间以及经过平移后属于该特定区间的差值进行定位图标注, 有效地减少定位图大小, 在保持图像低失真度的前提下, 可嵌入的信息量有显著的提高。

1 基于差值扩展的可逆信息隐藏算法

文献[6]通过公式(1)和(2)可以计算出像素对(A,B)的差值 d 和平均值 l :

$$l = \lfloor (A+B)/2 \rfloor \quad (1)$$

$$d = A - B \quad (2)$$

将差值分为 3 类：可扩展类 E 、可修改类 C 、不可修改类 U 。针对不同差值采用不同的信息嵌入方法。对于可扩展类 E 的差值采用差值扩展方法，可根据公式(3)和(4)：

$$A' = l + \lfloor (d' + 1)/2 \rfloor \quad (3)$$

$$B' = l - \lfloor d'/2 \rfloor \quad (4)$$

将二进制隐秘信息 b 按照 $d' = 2d + b$ 嵌入到差值 d 中，得到含有嵌入信息的像素对 (A', B') 。对于可修改类 C 采用 LSB 替换，而不可修改类 U 不做任何的修改。

为了在接收端能够无损还原图像，必须生成相当于原始图像尺寸一半的定位图，原图像中每个差值在定位图中都有 0 或 1 的 1 bit 信息与之对应，然后将经过无损压缩的定位图与隐秘信息一同嵌入到图像中。对于文中涉及概念做以下定义： B 表示嵌入信息总量， P 表示隐秘信息， M 表示压缩后的定位图， A 表示附加信息。

2 本文算法

2.1 差值直方图平移与定位图

本文提出的算法通过提高 $[-T, T)$ 区间内差值总量，及仅对属于 $\left[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}\right)$ 特定区间内的差值进行定位图标注来达到扩大可嵌入信息容量的目的。下文仅基于阈值 T 为偶数进行说明。

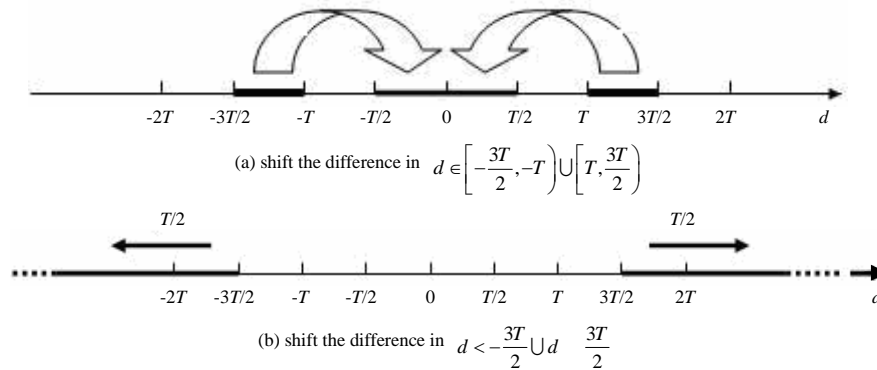


Fig.1 Difference histogram shift

图 1 差值直方图平移

见图 1(a)，将 $d \in \left[-\frac{3T}{2}, -T\right) \cup \left[T, \frac{3T}{2}\right)$ 的差值右移或左移 T 个单位使其满足 $d \in \left[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}\right)$ 。同时生成对 $d \in \left[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}\right)$ 的差值进行标注的定位图。在定位图中，原本属于 $d \in \left[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}\right)$ 的差值标注为 1，经过平移后属于 $d \in \left[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}\right)$ 的差值标注为 0。仅对 $d \in \left[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}\right)$ 中的差值而不是对所有的差值进行标注，明显减少定位图的大小，从而增加可嵌入隐秘信息的总量。此外为了防止在嵌入信息后差值产生混叠，将属于 $d < -\frac{3T}{2} \cup d > \frac{3T}{2}$ 中差值左移或者右移 $\frac{T}{2}$ 个单位，见图 1(b)。

在隐秘信息嵌入中，本文算法仅对满足条件的可扩展差值 E 嵌入隐秘信息。当差值 $d \in \left[-T, -\frac{T}{2}\right) \cup \left[\frac{T}{2}, T\right)$ 利用差值扩展嵌入隐秘信息后，得到 $d' \in [-2T, -T) \cup [T, 2T)$ 。而差值 $d \in \left[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}\right)$ 进行嵌入隐秘信息得到 $d' \in [-T, T)$ 。在图像还原时，对 $d' \in [-2T, -T) \cup [T, 2T)$ 的差值直接进行差值扩展还原。而对于 $d' \in [-T, T)$ 的差值，根据解压后的定位图进行还原。

通过实验发现在一些自然图像中 $d \in [-T, T)$ 存在极少数差值 $d \in C$ 但 $d \notin E$ 的情况。符合上述情况的差值不作为信息嵌入的载体，所以本文中以二进制的方式记录这些差值个数和位置并作为附加信息 A 嵌入到图像中。当接受端提取出该信息后，对这些差值不做任何处理。

2.2 嵌入信息步骤

本文提出的嵌入方法分为 5 步，具体如下：

Step1. 计算相邻像素的差值。

Step2. 将差值分为 3 类，即可扩展类(expandable)、可修改类(changeable)和不可修改类(unchangeable)。遍历每个差值，对可扩展类中 $d \in \left[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}\right)$ 的差值，在定位图中标注为 1。对于可修改类中 $d \in \left[-\frac{3T}{2}, -T\right) \cup \left[T, \frac{3T}{2}\right)$ 的差值，在定位图中标注为 0，并且右移或者左移 T 个单位。对于 $d < -\frac{3T}{2} \cup d > \frac{3T}{2}$ 的属于可修改类的差值左移或者右移 $\frac{T}{2}$ 个单位。

Step3. 对定位图进行无损压缩得到 M 。生成头文件，即附加信息 A 。头文件 A 包括嵌入次数、阈值 T 的值、不满足条件的差值的个数和位置以及压缩后定位图的大小。

Step4. 生成总的嵌入信息量：附加信息 A 、定位图 M 以及隐秘信息 P ，即 $B=A+M+P$ 。

Step5. 根据差值扩展方法，首先将信息嵌入到 $d \in \left[-T, -\frac{T}{2}\right) \cup \left[\frac{T}{2}, T\right)$ ，然后再嵌入到 $d \in \left[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}\right)$ 中，得到含有隐秘信息的图像。

2.3 信息提取步骤

Step1. 提取差值 $d' \in [-2T, -T) \cup [T, 2T)$ 中的信息，然后提取差值 $d' \in [-T, T)$ 中的信息。

Step2. 提取定位图并且进行解压缩。

Step3. 遍历每对像素对，计算出差值 d' 和均值 l 。若 $d' \in [-T, T)$ ，根据 $d = \lfloor d'/2 \rfloor$ 还原差值 d ，则根据定位图和公式(1)和(2)，还原像素对。若 $d' \in [-2T, -T) \cup [T, 2T)$ ，计算出差值 d ，根据公式(1)和(2)还原像素对。对于 $d' < -2T \cup d' > 2T$ 的差值向左或向右平移 $\frac{T}{2}$ 个单位，然后根据公式(1)和(2)还原像素对。

3 实验与讨论

见图 2，本文选取 3 幅 512×512 灰度图像作为载体图像，其中自然图像、遥感图像和纹理图像各 1 幅。实验分为 3 部分：a) 定位图及对应可嵌入的隐秘信息总量与文献[6]和[11]进行分析比较；b) 单层嵌入，分析比较 3 种方法取得 PSNR 值与嵌入率；c) 多层嵌入，比较在 PSNR 值近似时隐秘信息的可嵌入容量。

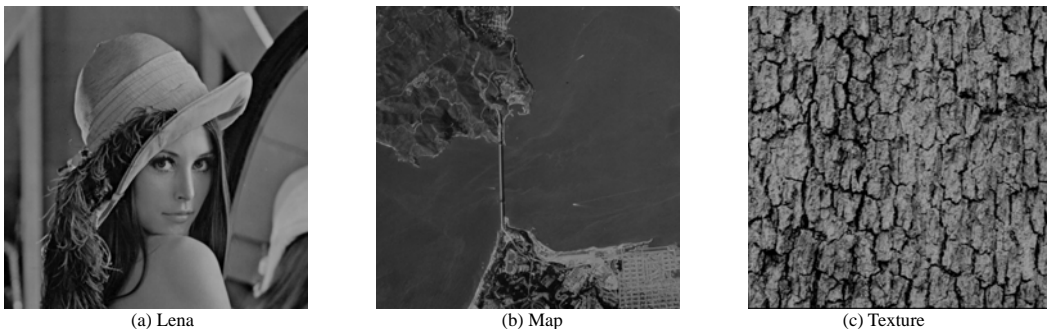


Fig.2 Test images
图2 载体图像

3.1 定位图及可嵌入信息容量的分析比较

基于差值扩展方法的可逆信息隐藏，无损压缩后的定位图作为附加信息占据可嵌入总量的一部分。因此，定位图越大，则可嵌入的隐秘信息总量就越少。本文提出的算法，首先根据阈值 T 动态确定定位图的大小，对经过

平移后以及原本属于 $d \in \left[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}\right)$ 的该特定区间的差值进行定位图标注，然后进行无损压缩。相比文献[6]和[11]，本文算法生成的定位图小很多，而且在阈值 T 较小时，本文算法能够取得相对较小的定位图。例如当 $T=6$ 时，本文算法相比文献[6]和[11]少 43 000 bit，见图 3(a)。不仅在自然图像中，本文算法能够取得很好的效果，而且在遥感图像和纹理图像中，本文依然能够取得相当好的效果，见图 3(b)和(c)。

此外，本文将 $d \in \left[-\frac{3T}{2}, -T\right) \cup \left[T, \frac{3T}{2}\right)$ 的差值右移或者左移 T 个单位，以此来扩大可嵌入信息的总量。见图 4，在定位图较小且可嵌入信息总量增加的前提下，本文均取得了较大隐秘信息嵌入量。特别在纹理图像时，本文算法要远好于另外 2 种算法。

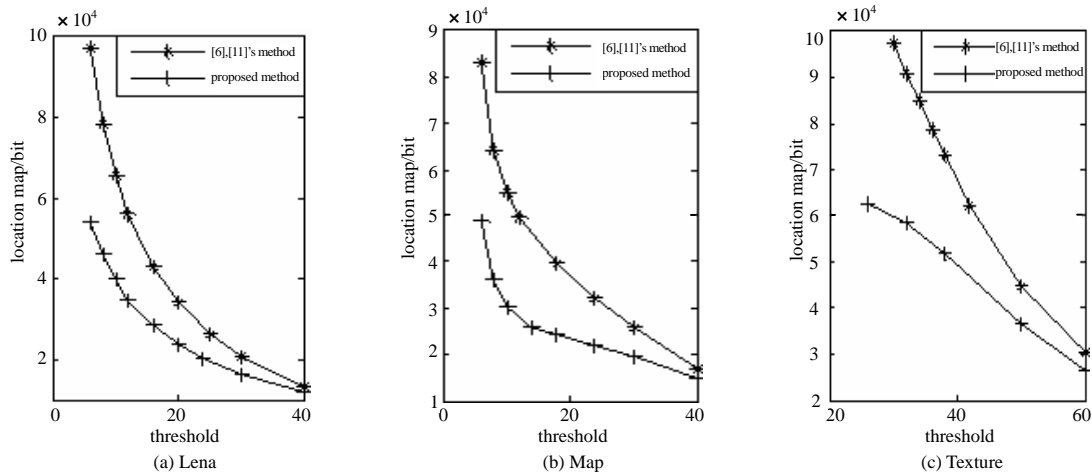


Fig.3 Comparison of location maps
图3 定位图比较

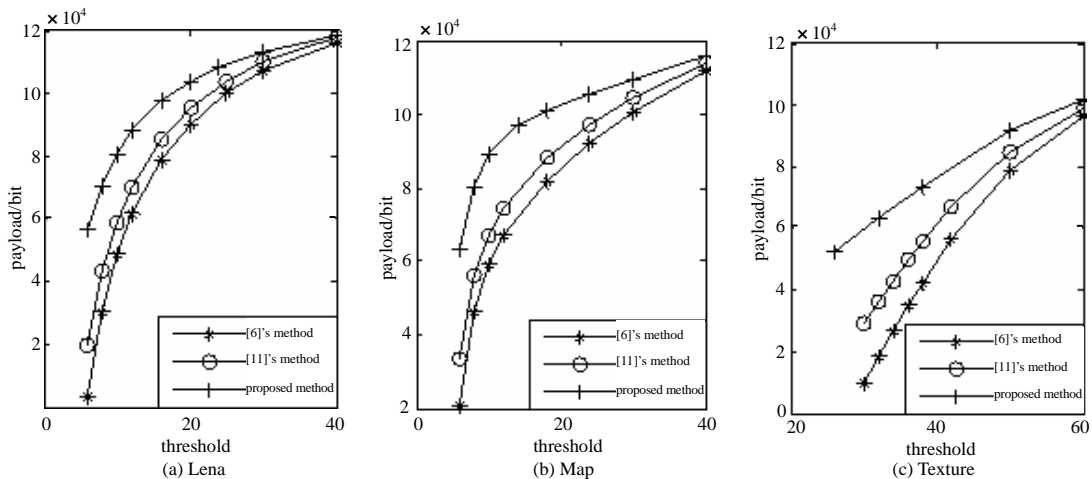


Fig.4 Comparison of payloads
图4 嵌入信息比较

3.2 单层嵌入

图 5 为 3 种方法在单层嵌入时每幅载体图像中取得的 PSNR 值与嵌入率的关系曲线。本文算法均取得了好于其他 2 种方法的嵌入效果。本文算法生成的定位图较小，因此在嵌入等量隐秘信息时，由于嵌入的信息总量相比其他 2 种方法较少，所以图像失真小，取得了较大的 PSNR 值。

3.3 多层嵌入

本文对每幅图像做 2 层嵌入，比较在 PSNR 值近似的情况下，3 种方法取得的隐秘信息的嵌入总量，见表 1。与文献[6]和[11]相比较，在 PSNR 值近似时，本文算法能够多嵌入近 17 000 bit 的隐秘信息。所以本文算法在嵌入效率和保持图像低失真率这两方面都要好于其他 2 种算法。

表1 PSNR相近时嵌入容量比较

[6]'s method		[11]'s method		proposed method	
PSNR	payload/bit	PSNR	payload/bit	PSNR	payload/bit
35.91	152 677	35.73	156 995	35.90	170 256
35.37	167 311	35.40	165 787	35.49	185 000
34.89	178 738	34.85	178 336	34.90	195 106

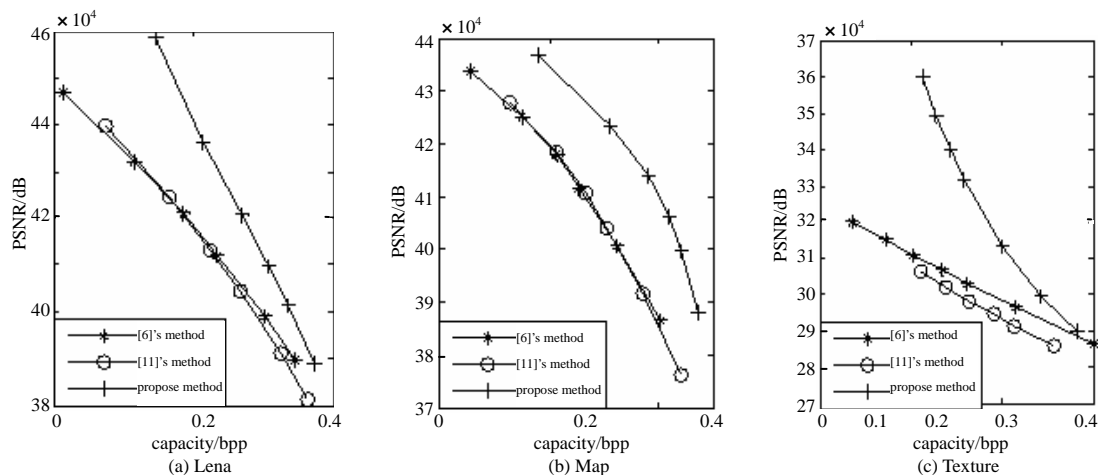


Fig.5 Comparison of PSNR
图 5 图像质量比较

4 结论

本文提出的基于差值扩展新算法,由于仅对经过平移后属于 $d \in \left[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}\right)$ 的差值进行标注,生成的定位图相对于传统方法较小。同时通过平移来扩大可嵌入信息的总量。该算法有效解决了现有算法中由于定位图占据较多空间而影响隐秘信息的嵌入量的问题。在保持图像低失真的前提下,与其他算法相比较取得了较大的信息嵌入量。

参考文献:

- [1] 茹国宝,杨锐,张永强,等. 一种改进的数字图像扩频水印技术[J]. 信息与电子工程, 2004,2(4):241-245.
- [2] 王晨毅,王建军. 第二代 Curvelet 变换域的信息隐藏方法[J]. 信息与电子工程, 2008,2(8):105-110.
- [3] 许欢,王建军. 利用分块像素差和模函数的大容量信息隐藏方法[J]. 信息与电子工程, 2009,7(3):218-221,226.
- [4] Barton J M. Method and apparatus for embedding authentication information within digital data:US,5,646,997[P]. 1997.
- [5] Fridrich J,Goljan M,Du Rui. Invertible authentication watermark for JPEG images[C]// International Conference on Information Technology: Coding and Computing. 2001:223-227.
- [6] Celik M U,Sharma G,Tekalp A M,et al. Reversible data hiding[C]// International Conference on Image Processing. 2002, 2:157-160.
- [7] Ni Zhicheng,Shi Yun-Qing,N Ansari,et al. Reversible data hiding[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2006,16(3):354-362.
- [8] Jun Tian. Reversible data embedding using a difference expansion[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003,13(8):890-896.
- [9] Kamstra L,Heijmans H J AM. Reversible data embedding into images using wavelet techniques and sorting[J]. IEEE Tran. on Image Processing, 2005,14(12):2082-2090.
- [10] Tseng Hsien-Wen,Chang Chin-Chen. An extended difference expansion algorithm for reversible watermarking[J]. Image and Vision Computing, 2008,26(8):1148-1153.

作者简介:



陈康康(1983-),男,上海市人,在读硕士研究生,主要研究方向为可逆信息隐藏.email: 072021038@fudan.edu.cn.

王建军(1960-),男,陕西省乾县人,博士,副教授,主要研究方向包括信息安全、图像处理及编码等。