

基于图像块像素差的大容量无损信息隐藏算法

李晓博, 周 诠

(中国空间技术研究院西安分院空间微波技术重点实验室, 西安 710100)

摘 要: 为使提取嵌入的秘密信息后能无损恢复原始载体图像, 提出一种基于图像块相邻像素差的大容量无损信息隐藏算法。将原始载体图像进行分块, 并按一定顺序扫描图像块得到一系列像素序列, 通过计算每个序列中相邻像素的差值得到差值直方图, 从中选择 2 个最大峰值点将秘密信息嵌入。实验结果表明, 与其他无损嵌入算法相比, 该算法在保证较好不可见性的情况下, 信息嵌入容量较大, 峰值信噪比较高。

关键词: 无损信息隐藏; 相邻像素差; 最大峰值点; 像素差直方图; 隐藏容量

High-capacity Lossless Information Hiding Algorithm Based on Pixel Difference of Image Block

LI Xiao-bo, ZHOU Quan

(Key Laboratory of Space Microwave Technology, China Academy of Space Technology, Xi'an 710100, China)

【Abstract】 A high-capacity lossless information hiding algorithm based on adjacent pixel differences of image block is proposed, which can recover the original image in lossless way after the hidden data are extracted from the stego image. It divides a cover image into a number of non-overlapping blocks, and sequences of pixels are obtained by scanning each image block in a given order. Pixel difference histograms are obtained by calculating adjacent pixel differences in each sequence. And the two maximal peak points in each pixel difference histogram are used to embed secret data. Experimental results show that compared with other lossless data hiding algorithms, the proposed algorithm can achieve large data hiding capacity and high PSNR while keeping image quality of the stego image high.

【Key words】 lossless information hiding; adjacent pixel difference; maximal peak point; pixel difference histogram; hiding capacity

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.17.029

1 概述

信息隐藏技术作为保护数字媒体知识产权和保证数字信息安全传递的有效手段之一, 变得越来越重要^[1]。文献[2]最早提出了无损信息隐藏的思想。此后, 文献[3]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[4]提出了基于差值扩展的方法, 在保证图像低失真度的同时, 大大提高了可嵌入的信息量。文献[5-6]扩展了文献[4]的方法, 将差值扩展技术推广到整数变换领域。文献[7]提出了基于直方图修改的无损隐藏方法, 该方法将信息嵌入到图像的直方图中, 取得了较高的峰值信噪比, 但是可嵌入的信息较少。文献[8]利用相邻像素相关性, 提出了基于像素差直方图修改的无损信息隐藏算法。与文献[7]的方法相比, 隐藏容量有了较大的提高。文献[9]提出了一种基于差值图像直方图修改的多级可逆信息隐藏方法, 进一步提高了隐藏容量。此外, 文献[10-12]对基于直方图修改的无损信息隐藏算法进行了研究。

本文提出一种基于图像块相邻像素差的大容量无损

信息隐藏算法, 给出信息嵌入、信息提取及原始载体图像恢复的具体过程, 并以典型灰度图像为原始载体图像, 对算法进行验证。

2 基于图像块像素差的无损信息隐藏算法

2.1 算法基本思想

本文算法先将图像分块, 按 S 扫描顺序依次扫描图像块中的每个像素, 得到一系列像素序列, 如图 1 所示。

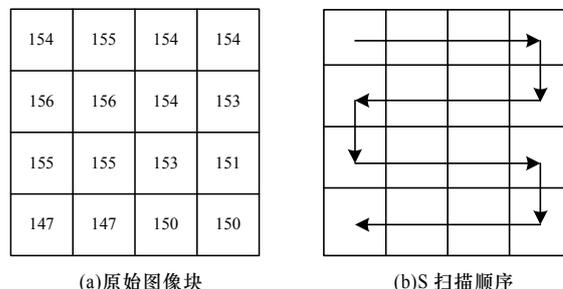


图 1 原始图像块及像素扫描顺序

之后计算每个序列中相邻像素之间的差值, 得到图像

基金项目: 国家空间微波技术重点实验室基金资助项目(9140C5303020601, 9140C5305020706)

作者简介: 李晓博(1983—), 男, 博士研究生, 主研方向: 信息隐藏, 卫星数据传输与信息处理; 周 诠, 研究员、博士生导师

收稿日期: 2011-10-26 **修回日期:** 2011-12-24 **E-mail:** xbli@yahoo.cn

块相邻像素差的直方图(如图 2 所示)。然后找到每个图像块像素差直方图中的 2 个最大峰值点 P_1 、 P_2 , 并对 P_1 、 P_2 左右两侧的直方图分别平移一个单位(如图 3 所示)。再利用 P_1 、 P_2 嵌入秘密信息。

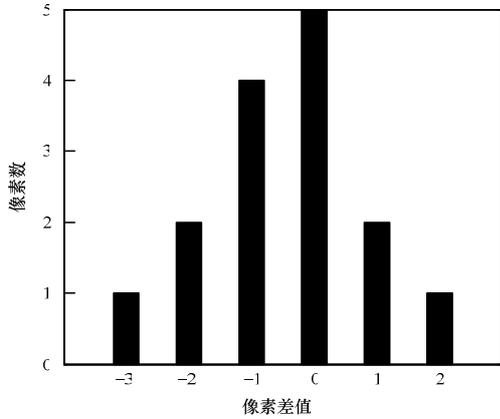


图 2 图像块相邻像素差直方图

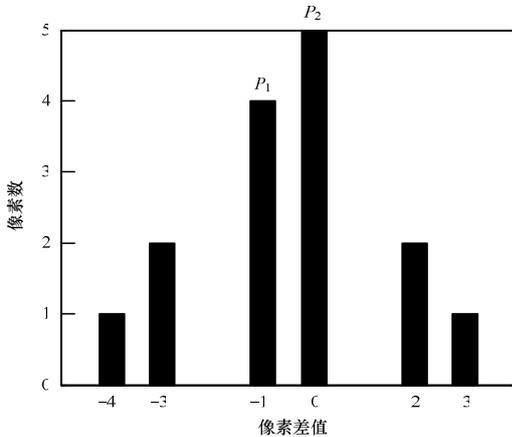


图 3 平移后的图像块相邻像素差直方图

本文算法先将图像进行分块, 用局部扫描代替全局扫描, 充分利用了局部像素间的相关性, 并用图像块像素差直方图的 2 个最大峰值点来嵌入信息, 大大增加了原始载体图像中用来嵌入秘密信息的像素数量, 可嵌入更多秘密信息。

2.2 秘密信息嵌入

秘密信息的嵌入过程如下:

(1) 将原始载体图像 I 分为大小为 $m \times n$ 的不重叠的图像块。每个图像块含有 $k = m \times n$ 个像素点。

(2) 按照 S 扫描顺序(如图 1(b)所示)扫描整个图像块, 得到一维数组 $X = \{x_i\}$, 其中, $x_i, 1 \leq i \leq k$ 是第 i 个像素的灰度值, $x_i \in [0, 255]$ 。

(3) 计算数组 X 相邻像素之间的差值, 得到:

$$d_{i-1} = x_i - x_{i-1}, 2 \leq i \leq k \quad (1)$$

(4) 从像素差 d_i 的直方图中找出 2 个最大峰值点, 并按从小到大的次序命名为 P_1 、 P_2 。

(5) 以相同的扫描顺序(S 顺序)再次扫描整个图像块, 令 $y_i = x_i$ 。如果 $d_i < P_1$ (或 $d_i > P_2$), 将 x_{i+1} 平移一个单位:

$$y_{i+1} = \begin{cases} x_{i+1} & \text{if } P_1 < d_i < P_2 \\ x_{i+1} - 1 & \text{if } d_i < P_1 \\ x_{i+1} + 1 & \text{if } d_i > P_2 \end{cases} \quad (2)$$

其中, y_i 为嵌入秘密信息后载体图像块的像素值。

(6) 如果 $d_i = P_1$ (或 $d_i = P_2$), 修改 y_i 如下:

$$y_i = \begin{cases} x_i - B & \text{if } d_i = P_1 \\ x_i + B & \text{if } d_i = P_2 \end{cases} \quad (3)$$

其中, $B = \{0, 1\}$ 为二进制的秘密信息比特流。

至此, 图像块的信息嵌入完成。重复以上步骤, 分别对每个图像块进行秘密信息的嵌入, 并记录所有峰值点作为密钥信息传输给接受者。大容量的信息嵌入可通过重复上述过程进行多层嵌入获得。

2.3 秘密信息提取及原始载体图像恢复

秘密信息的提取和载体图像的恢复过程与嵌入过程类似, 具体如下:

(1) 将含密图像 I' 分为大小为 $m \times n$ 的不重叠的图像块。每个图像块含有 $k = m \times n$ 个像素点。

(2) 按照相同的扫描顺序(S 顺序)扫描整个图像块, 令 $x_i = y_i$, x_i 指重建图像块的第 1 个像素灰度值。

(3) 秘密信息 B 的提取过程如下:

$$B = \begin{cases} 0 & \text{if } y_i - x_{i-1} = P_1 \text{ or } y_i - x_{i-1} = P_2 \\ 1 & \text{if } y_i - x_{i-1} = P_1 - 1 \text{ or } y_i - x_{i-1} = P_2 + 1 \end{cases} \quad (4)$$

其中, $2 \leq i \leq k$; P_1 、 P_2 为提取秘密信息的密钥。

(4) 载体图像恢复过程如下:

$$x_i = \begin{cases} y_i & \text{if } y_i - x_{i-1} = P_1 \text{ or } y_i - x_{i-1} = P_2 \\ y_i + 1 & \text{if } y_i - x_{i-1} = P_1 - 1 \\ y_i - 1 & \text{if } y_i - x_{i-1} = P_2 + 1 \\ y_i + 1 & \text{if } y_i - x_{i-1} < P_1 - 1 \\ y_i - 1 & \text{if } y_i - x_{i-1} > P_2 + 1 \\ y_i & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

重复以上过程即可提取秘密信息和无损恢复原始载体图像。

2.4 溢出问题的解决思路

由于灰度图像像素值的范围为 $[0, 255]$, 修改像素灰度值可能导致像素值溢出(小于 0 或大于 255)。为了解决溢出问题, 本文采用了图像直方图平移技术^[8]。将图像像素值小于 L 和大于 $255 - L$ (L 为嵌入的层数)的像素值都加 L , 并建立一个与原始图像大小一致的定位图。如果原始载体图像像素值介于 $(L, 255 - L)$, 定位图对应位赋值为 0, 否则, 赋值为 1。对于大多数自然图像而言, 像素值小于 L 或大于 $255 - L$ 的像素相对较少, 且它们都是邻近的。所以, 可采用行程编码对定位图进行无损压缩, 并将压缩后的定位图与秘密信息一同嵌入到原始载体中进行传输。

3 实验结果与分析

3.1 仿真结果

将本文算法用于一些大小为 512×512 的 8 bit 国际标准灰度自然测试图像(测试图像来源于 CVG-UGR 图像数据库^[13]), 如图 4 所示。



图4 测试图像

将各原始载体图像分为 4×4 的小块, 嵌入 1 层($L=1$)时, 隐藏容量和峰值信噪比的对比结果如表 1 所示。进行多层嵌入后, 测试图像嵌入容量与嵌入数据后图像的峰值信噪比之间的关系如图 5 所示。

表 1 嵌入 1 层后隐藏容量和峰值信噪比的对比结果

| 测试图像 | 嵌入比特 | 嵌入容量/(bit·p ⁻¹) | 峰值信噪比/dB |
|----------|---------|-----------------------------|----------|
| Lena | 83 410 | 0.318 2 | 49.63 |
| Baboon | 58 298 | 0.222 4 | 49.01 |
| Airplane | 101 689 | 0.346 8 | 49.03 |
| Boat | 83 686 | 0.319 2 | 49.40 |
| Pepper | 79 188 | 0.302 1 | 48.99 |
| GoldHill | 75 524 | 0.288 1 | 49.21 |

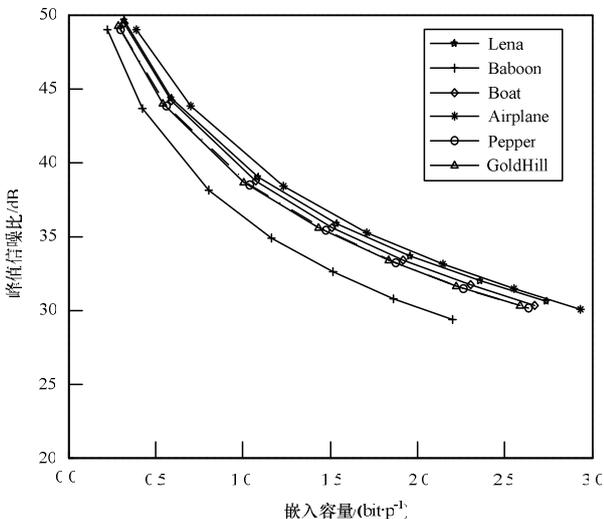


图 5 测试图像嵌入容量与嵌入数据后图像峰值信噪比的关系

由实验结果可知, 纹理复杂、图像块相邻像素相关性差的图像(如 Baboon)相对于平滑图像(如 Airplane)在含密图像峰值信噪比相当的情况下嵌入量较小。这是由于图像块相邻像素相关性小, 所得像素差值的直方图的最大峰值较低。

图 6 为原始 Lena 图像在嵌入不同信息大小的情况下含密 Lena 图像的隐藏效果。从中可见, 当峰值信噪比为 49.63 dB 时, 含密图像很难与原始图像区分, 只有当峰值信噪比下降到 30.53 dB 时才有微小的差别, 此时嵌入容量已达 2.740 8 bit/p。说明本文的隐藏算法在保证较好图像质量的前提下, 可嵌入较大的信息比特。

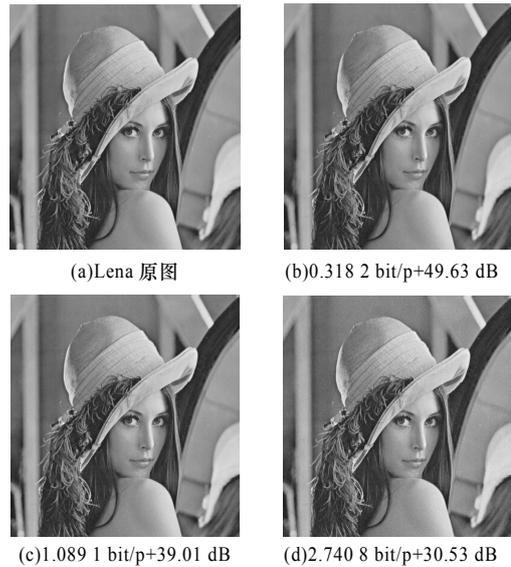


图 6 原始 Lena 图像与含密图像的视觉效果对比

3.2 与其他无损嵌入方法的比较

为了评估本算法的性能, 采用 Lena 图像作为原始载体图像, 得到了嵌入容量和峰值信噪比的关系曲线, 并与文献[4,7-9]的算法作了比较, 如图 7 所示。可以看出, 本文算法在嵌入容量和峰值信噪比 2 个方面都明显优于其他算法。也就是说, 在相同峰值信噪比的情况下, 可获得更大的嵌入容量。

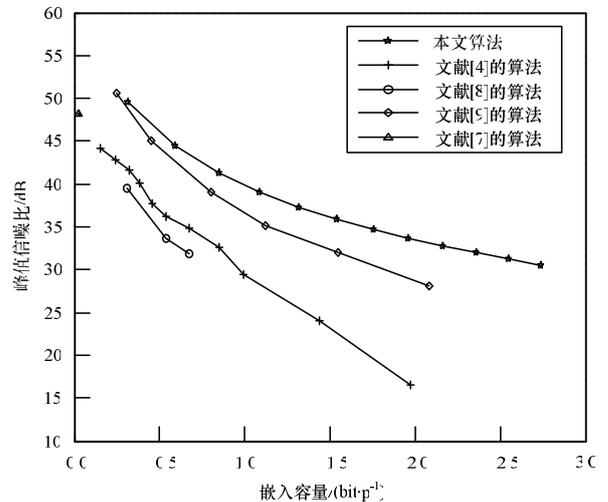


图 7 本文算法与其他算法的性能对比

4 结束语

本文提出了一种大容量的无损信息隐藏算法。该算法利用了图像块相邻像素差直方图的2个峰值点进行信息隐藏, 含密图像不仅可以提取秘密信息, 而且提取秘密信息后原始载体图像还可以完全恢复。实验结果表明, 该算法在保证一定图像质量的前提下, 获得了较大的隐藏容量, 因此, 可应用于信息隐藏、图像认证和重要图像的保密传输等领域。

参考文献

- [1] 王也勇. 信息隐藏技术及其军事应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [2] Barton J M. Method and Apparatus for Embedding Authentication Information within Digital Data[P]. U.S. Patent 5646997, 1997.
- [3] Fridrich M, Goljan M, Du Rui. Invertible Authentication Watermark for JPEG Images[C]//Proc. of International Conference on Information Technology: Coding and Computing. Las Vegas, USA: [s. n.], 2001: 223-227.
- [4] Tian Jun. Reversible Data Embedding Using a Difference Expansion[J]. IEEE Transactions on Circuits Systems for Video Technology, 2003, 13(8): 890-896.
- [5] Alattar A M. Reversible Watermark Using the Difference Expansion of Triplets[C]//Proc. of International Conference on Image Processing. Catalonia, Spain: [s. n.], 2003: 501-504.
- [6] Alattar A M. Reversible Watermarking Using the Difference Expansion of a Generalized Interger Transform[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(8): 1147-1156.

- [7] Ni Zhicheng, Shi Yunqing, Nirwan A, et al. Reversible Data Hiding[J]. IEEE Transactions on Circuits Systems for Video Technology, 2006, 16(3): 354-362.
- [8] Chang Chin-Chen, Tai Wei-Liang, Chen Kuo-Nan. Lossless Data Hiding Based on Histogram Modification for Image Authentication[C]//Proc. of IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing. [S. l.]: IEEE Press, 2008: 506-510.
- [9] Lin Chia-Chen, Tai Wei-Liang, Chang Chin-Chen. Multilevel Reversible Data Hiding Based on Histogram Modification of Difference Images[J]. Pattern Recognition, 2008, 41(12): 3582-3591.
- [10] Yang Cheng-Hsing, Tsai Meng-Hsuan, Wu Min-Hao, et al. Side-match Approach for Improving Histogram-based Reversible Data Hiding[C]//Proc. of National Computer Symposium. Taipei, China: [s. n.], 2009.
- [11] Yoo Hyang-Mi, Lee Sang-Kwang, Suh Jae-Won. High Capacity Reversible Data Hiding Using the Histogram Modification of Block Image[C]//Proc. of IEEE International Symposium on Circuits and Systems. [S. l.]: IEEE Press, 2010: 1137-1140.
- [12] Wang Shiuh-Jeng, Weng Chi-Yao, Goyal D. Multilevel Data Hiding for Embedding Reversibility upon Improving Histogram Shifting[C]//Proc. of International Computer Symposium. Tainan, China: [s. n.], 2010: 137-141.
- [13] CVG-UGR Image Database[EB/OL]. [2011-05-22]. <http://decsai.ugr.es/cvg/dbimagenes/index.php>.

编辑 张帆

(上接第101页)

有较好的链路状态, 所以在数据包投递率上的表现优于 HDCA 和 MinIDCA; 同时建立的簇结构具有较好的稳定性, 降低了簇的维护和路由失效等的开销, 从而在路由开销上也明显低于 HDCA 和 MinIDCA。综上所述, 本文提出的基于稳定度的分簇算法在综合环境下具有较好的性能表现。

5 结束语

本文针对传统 Ad Hoc 网络分簇算法的不足, 提出了基于稳定度的分簇算法。该算法实现简单、分布式计算开销小并且具有较高的收敛速度, 且无需全网唯一 ID 的假设。同时该算法所生成的簇结构具有较好的稳定性和持续性, 在移动性较强的网络中也能表现出较优的性能。最后通过分析证明与实验仿真进一步验证了算法的正确性和优越性。

参考文献

- [1] 王海涛. 移动 Ad Hoc 网络的分簇算法及性能比较[J]. 北京邮电大学学报, 2004, 27(1): 93-97.
- [2] Ramanathan S, Steenstrup M. A Survey of Routing Techniques for Mobile Communication Networks[J]. Mobile Networks and Applications, 1996, 1(2): 89-104.

- [3] Pham P P. Comprehensive Analysis of the IEEE 802.11[J]. Mobile Networks and Applications, 2005, 10(5): 691-703.
- [4] Wu Yafeng, Xu Yinlong, Chen Guoliang. On the Construction of Virtual Multicast Backbone for Wireless Ad Hoc Networks[C]//Proc. of International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems. [S. l.]: IEEE Press, 2004: 294-303.
- [5] 杨卫东. 用于 Ad Hoc 网络的分簇算法[J]. 北京邮电大学学报, 2009, 32(5): 61-65.
- [6] 陈年生, 李腊元, 孙 强. 基于分层结构的 Ad Hoc 多播路由算法[J]. 计算机工程, 2005, 31(16): 110-112.
- [7] 程伟明, 郑健平, 盛凌志. 一个 Ad Hoc 网络中的簇结构模式[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(4): 674-678.
- [8] Yu J Y, Chong P H J. A Survey of Clustering Schemes for Mobile Ad hoc Networks [J]. IEEE Communications Survey and Tutorials, 2005, 7(1): 32-48.
- [9] Astier E, Hafid A, Benslimane A. Energy and Mobility Aware Clustering Technique for Multicast Routing Protocol in Wireless Ad Hoc Networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1997, 15(7): 1265-1275.

编辑 顾逸斐

