第35卷 第23期 计 算 机 工 程 2009年12月
Vol.35 No.23 Computer Engineering December 2009
·安全技术· 文章编号：1000—3428(2009)23—0136—02 文献标识码：A 中图分类号：TP301.6

# 自适应的无损像素差分隐写算法

耿广志，张汗灵，熊彩琼
(湖南大学计算机与通信学院，长沙 410082)

**摘 要**：提出一种自适应的无损像素差分隐藏算法，利用像素块差值的最大值和门限值的关系，在平滑区域和边缘区域嵌入较多的隐藏信息，在中间地带嵌入较少的信息。实验结果表明，该算法可以提高数据隐藏的容量，实现隐藏信息的盲提取，有效抵抗差分直方图的攻击，无损恢复原始载体图像。

**关键词**：隐写；数据隐藏；像素差值；盲提取

# Adaptive Lossless Pixel Differencing Steganographic Algorithm

GENG Guang-zhi, ZHANG Han-ling, XIONG Cai-qiong
(College of Computer and Communication, Hunan University, Changsha 410082)

**【Abstract】** This paper proposes an adaptive lossless pixel differencing steganographic algorithm. By taking advantage of the relationship between the maximum value among the difference values of the pixel block and the threshold, it embeds more information in the smooth areas and the edge areas of the host image, while embedding less information in the middle gray image areas. Experimental results show that the algorithm can improve the embedding capacity, achieve blind abtraction of hidden information, resist difference histogram attack efficiently, and recover images losslessly.

**【Key words】** steganography; data hiding; pixel-value difference; blind extraction

隐写术是一种隐蔽通信技术，它通过隐藏秘密数据的存在性获得通信的安全。对隐写的基本要求是有极高的安全性和足够的信息隐藏量。文献[1]提出一种利用连续像素差值的方法。文献[2]对其做了改进，进一步增加了嵌入信息的容量。文献[3]提出一种自适应无损像素差值的算法。用这种算法嵌入数据，嵌入信息量大、不易察觉，并且可以重构原始载体图像。本文在该算法的基础上提出了一种新的隐写算法，不仅保持了算法的所有优点、提高了隐藏信息容量，而且可以有效地抵抗基于差分直方图统计特性异常的隐写分析。

## 1 基于像素差值的隐写算法

在文献[3]的算法中，当 $d_{\max} \geqslant T$ 时不进行信息嵌入。而对于变化剧烈的图像，这部分所占比例非常大。因此，本文提出一种改进算法，在变化剧烈的像素块进行信息嵌入，增加了图像的信息嵌入量。

### 1.1 嵌入算法

本文只讨论8 bit灰度图像，首先设定门限阈值 $T$，把原始图像分为连续互不重叠的2×2小块，按升序排列这4个像素，用式(1)和式(2)计算中值 $\upsilon_m$ 和差分值序列 $<d_{m-1}, d_{m+1}, d_{m+1}>$，用式(3)计算 $d_{\max}$：

$$\upsilon_m = \mathrm{mid}\{\upsilon_0, \upsilon_1, \cdots, \upsilon_{k-i}\} = \upsilon_{\left\lfloor \frac{k-1}{2} \right\rfloor}^{*} \tag{1}$$

$$d_i = \upsilon_i - \upsilon_m,\ 0 \leqslant i \leqslant k-1,\ i \neq m \tag{2}$$

$$d_{\max} = \max_{0 \leqslant i \leqslant k-1, i \neq m} \{|d_i|\} \tag{3}$$

设每个差分值能隐藏消息为 $b$，$b \in \{0,1,\cdots,l-1\}$，其中，$l$ 由 $d_{\max}$ 和 $T$ 的关系决定，当 $d_{\max} < T/8$ 时，$l$=4；当 $T/8 \leqslant d_{\max} < T/2$ 时，$l$ =2。把 $l$ 和 $b$ 代入式(4)，当 $T/2 \leqslant d_{\max} < T$ 时，$l=2$，把 $b$ 代入式(5)，产生新差分值 $d_i'$，然后根据式(6)得到一个新的像素值 $\upsilon_i'$，并用 $\upsilon_i'$ 取代 $\upsilon_i$，这样就完成了隐秘信息的嵌入。

$$d_i' = \begin{cases} l \times d_i + b & \upsilon_i > \upsilon_m \\ l \times d_i - b & \upsilon_i < \upsilon_m \end{cases},\ 0 \leqslant i \leqslant k-1,\ i \neq m \tag{4}$$

$$d_i' = \begin{cases} 2 \times \left\lfloor \frac{d_i}{2} \right\rfloor + b & \upsilon_i > \upsilon_m \\ 2 \times \left\lfloor \frac{d_i}{2} \right\rfloor - b & \upsilon_i < \upsilon_m \end{cases},\ 0 \leqslant i \leqslant k-1,\ i \neq m \tag{5}$$

$$\upsilon_i' = \upsilon_m + d_i',\ 0 \leqslant i \leqslant k-1,\ i \neq m \tag{6}$$

若 $d_{\max} \geqslant T$，则按照行相邻元素的相关性和列相邻元素的相关性进行嵌入，步骤如下：

(1)把2×2像素块按行分为2组，即$<\upsilon_{i,j}, \upsilon_{i,j+1}>$和$<\upsilon_{i+1,j}, \upsilon_{i+1,j+1}>$，以$<\upsilon_{i,j}, \upsilon_{i,j+1}>$为例进行分析。

(2)用式(7)、式(8)计算像素的平均值 $l$ 和差值 $h$，如果 $\left|2 \times \left\lfloor \frac{h}{2} \right\rfloor + b\right| \leqslant \min\left(2 \times (255-l), 2l+1\right)$，则这2个相邻像素能嵌入信息[4]：

$$l = \left\lfloor \frac{\upsilon_{i,j} + \upsilon_{i,j+1}}{2} \right\rfloor \tag{7}$$

$$h = \upsilon_{i,j+1} - \upsilon_{i,j} \tag{8}$$

(3)假设要嵌入的信息比特为 $b$，$b$ 为0或1，用式(9)计算新差分值 $h'$：

$$h' = 2 \times \left\lfloor \frac{h}{2} \right\rfloor + b \tag{9}$$

(4)利用像素平均值 $l$ 和新差分值 $h'$，由式(10)计算新像素值$<\upsilon_{i,j}', \upsilon_{i,j+1}'>$：

**作者简介**：耿广志(1980－)，男，硕士研究生，主研方向：图像处理，信息隐藏；张汗灵，副教授、博士；熊彩琼，硕士研究生

**收稿日期**：2009-04-01 **E-mail**：jt-hlzhang@hnu.cn

$$\upsilon_{i,j}' = l + \left\lfloor \frac{h'+1}{2} \right\rfloor \tag{10}$$

$$\upsilon_{i,j+1}' = l - \left\lfloor \frac{h'}{2} \right\rfloor \tag{11}$$

(5)重复步骤(2)~步骤(4)，计算出 $\upsilon_{i+1,j}'$ 和 $\upsilon_{i+1,j+1}'$，得到新的像素块。

(6)利用列相邻元素的相关性进行嵌入，重新分组得到相邻像素对$<\upsilon_{i,j}', \upsilon_{i+1,j}'>$和$<\upsilon_{i,j+1}', \upsilon_{i+1,j+1}'>$，重复步骤(2)~步骤(5)，得到新像素块$<\upsilon_{i,j}'', \upsilon_{i,j+1}'', \upsilon_{i+1,j}'', \upsilon_{i+1,j+1}''>$。

对其他像素块进行上述相同的操作，直至信息完全嵌入。

### 1.2 提取算法

提取算法基本上是嵌入算法的逆过程。首先把含隐图像分为大小相同互不重叠的像素块，按式(1)和式(2)计算中值 $\upsilon_m$ 和像素差分最大值 $d_{\max}'$，同时确定判决门限 $T$，判断 $d_{\max}'$ 和 $T$ 的关系，若 $d_{\max}' < T$，则按文献[1]所述进行信息提取；反之，按照下面的步骤进行提取信息：

(1) 按照式(7)、式(8)分别计算$<\upsilon_{i,j}'', \upsilon_{i+1,j}''>$和$<\upsilon_{i,j+1}'', \upsilon_{i+1,j+1}''>$的平均值 $l'$ 和差值 $h'$。

(2)提取的差分值 $h'$ 的最后一位即是隐藏的秘密信息，并得到像素值$<\upsilon_{i,j}', \upsilon_{i,j+1}', \upsilon_{i+1,j}', \upsilon_{i+1,j+1}'>$。

(3) 重新利用式(7)、式(8)计算$<\upsilon_{i,j}', \upsilon_{i,j+1}'>$和$<\upsilon_{i+1,j}', \upsilon_{i+1,j+1}'>$的差分值 $h$ 和平均值 $l$，提取的 $h$ 的最后一位即是隐秘信息，然后得到原像素值$<\upsilon_{i,j}, \upsilon_{i,j+1}, \upsilon_{i+1,j}, \upsilon_{i+1,j+1}>$。

## 2 实验结果

本文用 8 bit 灰度、512×512 的图像进行实验。将文献[3]的算法和本文算法进行对比，嵌入的秘密信息由随机数产生器产生，用峰值信噪比(*PSNR*)衡量消息嵌入前后的畸变。当 $T$=32 时，Lena, Baboon 和 Airplane 的 *PSNR* 和嵌入量见表 1，从中可以看出，本文算法比文献[3]算法嵌入的信息量大。阈值 $T$ 分别为 24,32,40,48 时，本文算法和文献[3]算法的嵌入量和 *PSNR* 的对比见图 1，从中可以看出，本文算法对于纹理变化丰富的图像，嵌入量提高了很多。

**表 1　$T$=32 时的嵌入量和 *PSNR***

| 载体图像 | 文献[3]的算法 | | 本文算法 | |
|---|---|---|---|---|
| | 嵌入量/bit | *PSNR*/dB | 嵌入量/bit | *PSNR*/dB |
| Lena | 287 352 | 34.32 | 304 091 | 35.18 |
| Baboon | 128 976 | 34.78 | 216 714 | 31.19 |
| Airplane | 304 088 | 36.26 | 309 333 | 37.26 |

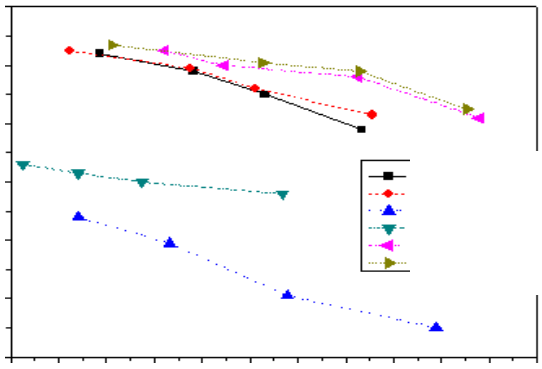


**图 1　本算法和文献[3]算法在不同阈值下的嵌入量和 *PSNR* 对比**

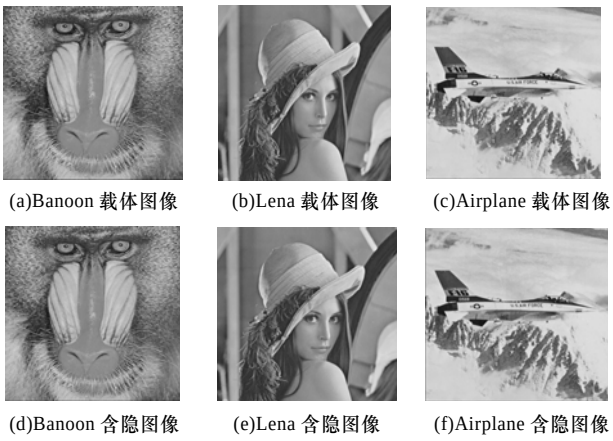
表 2、表 3 为用 2 种方法对 Airplane 和 Baboon 进行嵌入时的详细情况。图 2 为 $T$=32 时嵌入信息前后图像的变化。

**表 2　不同 $T$ 时 Airplane 和 Baboon 的嵌入量**　bit

| 块号 | Airplane | | | | Baboon | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $T$=24 | $T$=32 | $T$=40 | $T$=48 | $T$=24 | $T$=32 | $T$=40 | $T$=48 |
| # Block Ⅰ | 24 470 | 32 579 | 38 109 | 42 060 | 2 406 | 4 614 | 7 056 | 9 620 |
| # Block Ⅱ | 28 563 | 23 510 | 19 917 | 17 276 | 20 759 | 25 250 | 28 267 | 30 191 |
| # Block Ⅲ | 6 303 | 5 107 | 4 442 | 4 021 | 16 646 | 17 128 | 16 938 | 16 464 |
| # Block Ⅳ | 6 200 | 4 340 | 3 068 | 2 179 | 25 725 | 18 544 | 13 275 | 9 261 |

**表 3　不同 $T$ 时 2 种算法的 *PSNR* 比较**　dB

| 算法 | Airplane | | | | Baboon | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $T$=24 | $T$=32 | $T$=40 | $T$=48 | $T$=24 | $T$=32 | $T$=40 | $T$=48 |
| 本文算法 | 39.17 | 37.26 | 32.15 | 31.11 | 30.05 | 31.19 | 32.51 | 34.68 |
| 文献[3]算法 | 38.79 | 36.26 | 34.26 | 31.02 | 37.89 | 34.78 | 32.32 | 30.42 |

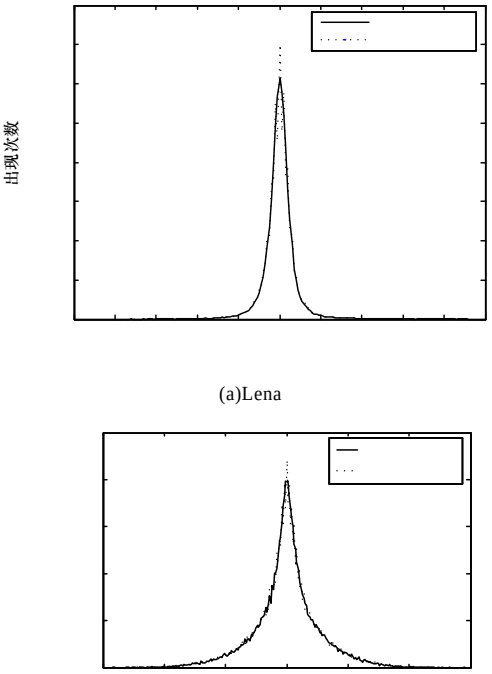


(a)Banoon 载体图像　(b)Lena 载体图像　(c)Airplane 载体图像

(d)Banoon 含隐图像　(e)Lena 含隐图像　(f)Airplane 含隐图像

**图 2　$T$=32 时嵌入信息前后图像的变化**

图 3 为载体图像和隐写图像相邻像素差值的直方图，从中可以看出，2 幅含隐图像与原始图像的灰度差值直方图无明显的差别。没有出现文献[5]中所说的在嵌入区间结合处有明显阶梯效应。




(a)Lena

(b)Baboon

**图 3　载体图像和含隐图像相邻像素的差分值直方图**

（下转第 140 页）