

一种调色板图像的脆弱水印和数据隐藏算法

张洪波 贾先德 江海河

(中国科学院安徽光学精密机械研究所,合肥 230031)

E-mail: zhb_5@126.com

摘要 调色板图像与真彩图像相比具有色彩量化、调色板独立等特点。调色板图像作为被广泛使用的媒体类型,但直接针对它的数字水印研究却非常少。文章提出了一种在调色板图像中同时嵌入脆弱水印和隐藏数据的新算法,在分成多个 3×3 的图像块的中心区域嵌入脆弱水印,同时利用块中像素间的相互关系来隐藏数据。试验结果表明,该算法具有很好的可行性和实用性,可应用于电子签名。

关键词 数据隐藏 篡改定位 脆弱水印

文章编号 1002-8331-(2006)07-0045-03 文献标识码 A 中图分类号 TP391

Data Hiding and Fragile Watermark Scheme for Palette Images

Zhang Hongbo Jia Xiande Jiang Haihe

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031)

Abstract: This paper presents a novel method for simultaneously embedding fragile watermark and data in the digital palette images. The magnitude between two pixels is utilized for hiding data, and simultaneously fragile watermark is embedded in the central pixel of every 3×3 block. Experimental results show that feasibility and practicability of the proposed approaches.

Keywords: data hiding, tamper localization, fragile watermark

1 引言

调色板图像由于占用空间小、传输带宽低等优点,如 gif, 调色板 BMP 等, 在网络传输和实际生活中被广泛使用, 因此, 研究针对版权保护、盗版跟踪等应用的调色板的数字水印技术具有十分重要的实际意义^[1]。目前, 已有许多真彩图像的数字水印的研究, 而对调色板的数字水印算法的研究还很少^[2]。这主要是由于在调色板图像中嵌入信息存在难度。首先, 调色板图像中, 颜色数量少, 最多只有 256 种, 这使得不容易通过量化来嵌入信息; 其次, 调色板图像由专门的调色板和颜色索引阵列构成, 对调色板的任意排序操作不能改变图像, 使得不能直接利用调色板来嵌入信息; 再者, 直接对调色板颜色的修改经常会产生某种特殊模式, 容易遭受攻击, 如调色板分析等。

针对以上问题, 本文从现实中大量调色板图像需要专利保护和真伪鉴别出发, 提出了一种在图像中同时嵌入脆弱水印和数据的新方法。该方法利用调色板和颜色索引间的特点, 同时将脆弱水印和数据嵌入在图像的索引阵列中, 而不改变调色板, 避免了调色板分析等攻击。最后试验结果表明该方法是行之有效的, 隐藏大量数据后图像保真度依然很高, 并能准确检测和定位遭受篡改的图像。

2 脆弱水印嵌入和数据隐藏算法

2.1 调色板图像的特点及排序

调色板图像都有一个独立的调色板, 像素的具体颜色对应于调色板中的一个索引号, 主要具有下列特点:

- (1) 图像最多包含有 256 种颜色;
- (2) 调色板专门用来存储图像中所使用到的颜色;
- (3) 每个像素的颜色值对应于调色板的一个索引号。

本文的研究方法依赖于每个像素值对应的调色板索引号。因此, 在作水印嵌入和数据隐藏之前先把调色板重新排序。在这里, 按照从暗到明(索引值从小到大)的顺序排列, 以便于在程序设计时可以快速地进行查表操作。设 $P_i=(R_i, G_i, B_i)$ ($0 \leq i \leq 255$) 是调色板中的第 i 种颜色。为了排序调色板, 先计算:

$$\mu(P_i) = \omega_1 \times R_i^2 + \omega_2 \times G_i^2 + \omega_3 \times B_i^2, (\omega_1 \neq \omega_2 \neq \omega_3) \quad (1)$$

其中 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 是 R, G, B 三色分量的权值, 目的是使诸如值为 (100, 120, 130) 的颜色不同于值为 (120, 100, 130) 的颜色。然后再按 $\mu(P_i)$ 的大小升序排列调色板。表 1 给出了排序示意图。

表 1 调色板图像的排序

| 索引 | 原始图像的调色板 | 排序后的调色板 |
|-------|-----------------|-----------------|
| | | |
| 100 | (150, 120, 100) | (238, 140, 110) |
| 101 | (150, 110, 60) | (238, 165, 120) |
| 102 | (100, 140, 100) | (239, 160, 100) |
| 104 | (20, 15, 90) | (239, 180, 90) |
| 105 | (200, 120, 80) | (240, 170, 100) |
| 106 | (120, 70, 100) | (240, 170, 180) |
| | | |

2.2 脆弱水印的嵌入

设 I 是一个大小为 $M \times N$ 的图像, 在其中嵌入脆弱水印。B

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号: 60478025)

作者简介: 张洪波(1980-), 男, 硕士, 研究方向为计算机应用。贾先德(1962-), 男, 副研究员, 研究方向为计算机应用。江海河(1963-), 男, 研究员, 研究方向为光机电一体化。

是 I 排序后的调色板, $B_i(0 \leq i \leq 255)$ 是 B 中的某一种颜色, 其索引号为 i 。图像 I 首先被分为若干非重叠的 3×3 的图像块(见图 1)水印就嵌入在块的中心位置。又设图像中两像素之间的颜色距离为:

$$L(\beta_x, \beta_y) = |R_x - R_y| + |G_x - G_y| + |B_x - B_y| \quad (2)$$

| | | |
|----|-----|-----|
| I | I | II |
| IV | | II |
| IV | III | III |

图 1 3×3 分块

则具体嵌入步骤如下:

- (1) 计算每个 3×3 块的算术平均值 μ , 因为 μ 是平均值, 所以 μ 不落在原调色板 B 中的几率就很大。
- (2) 在 B 中找出一个 B_k , 使其到 μ 的颜色距离 $L(B_k, \mu)$ 最小, 同时还要满足 k 能够整除 Q 。
- (3) 用 B_k 来取代中心像素的值。
- (4) 若数据长度为 n , 则需重复 $2 \times n$ 次(1)~(3)的操作来完成水印的嵌入。

第(2)步中的 Q 是一个可经验控制的水印强度系数。由上述水印嵌入步骤可知, 当 Q 值越小时嵌入后的图像质量保真度越高, 因为 Q 越小, B 中能被 Q 整除的 k 就越多, 在 B 中就能找到较多的 B_k 来取代块中心像素的颜色, 同理, 当 Q 值越大时, 图像质量保真度就越低。

2.3 数据隐藏

设 W 是前面 I 嵌入水印后的图像; 设 S 是要嵌入到 W 中的数据信息, 它由 n 个字符组成; 设 B 是已经排序后的调色板, $B_i(0 \leq i \leq 255)$ 是 B 中的某一种颜色, 其索引号为 i 。在嵌入 S 之前, 先根据 ASCII 表把 S 转换成二进制数据, 即 $S = S_1 S_2 S_3 S_4 \dots S_{n \times 8}$, 然后和前面一样, 把图像 W 分割成 3×3 的图像块, 然后把数据的每一位隐藏在图 W 中每个 3×3 块中的标志区域(I, II, III, IV, 见图 1)中。S 中的某一位 S_i 是按如下步骤嵌入到图像 W 中的:

- (1) 从每个 3×3 的像素块中, 选择一个标志区域(I, II, III 或 IV), 假定组成标志区域的两个像素分别为 α_1, α_2 。
- (2) 查找调色板 B, 找出以上 α_1, α_2 对应的颜色索引值分别为 T_1 和 T_2 。
- (3) 找到块中心位置的像素索引值 μ 。
- (4) 如果 $S_i = 1$ 且 $\min(T_1, T_2) \leq \mu \leq \max(T_1, T_2)$, 则需要用 B 中的某一种颜色索引来取代两个像素中的某一个颜色索引(T_1 或 T_2)。此时, 记 $T = \frac{T_1 + T_2}{2}$, 如果 $T \geq \mu$, 则要在 B 中找出一个 B_k , 使其到 T 的颜色距离 $L(B_k, T)$ 最小, 然后令 $\min(T_1, T_2) = B_k$; 如果 $T < \mu$, 则要在 B 中找出一个 B_k , 使其到 T 的颜色距离 $L(B_k, T)$ 最小, 然后令 $\max(T_1, T_2) = B_k$ 。反之, 如果 $S_i = 0$, 且满足 $\mu > \max(T_1, T_2)$ 或者 $\mu < \min(T_1, T_2)$, 保持两个像素索引值不变。

- (5) 如果 $S_i = 0$ 且 $\mu > \max(T_1, T_2)$ 或者 $\mu < \min(T_1, T_2)$, 则需要用 B 中的某一种颜色索引来取代两个像素中的某一个颜色索引(T_1 或 T_2)。此时, 记 $T = \frac{T_1 + T_2}{2}$, 如果 $\mu < \min(T_1, T_2)$, 则要在 B 中找出一个 B_k , 使其到 $T' = (\min(T_1, T_2) - (T - \mu))$ 的颜色距离 $L(B_k, T')$ 最小, 然后令 $\min(T_1, T_2) = B_k$; 如果 $\mu > \max(T_1, T_2)$, 则要在 B 中找出一个 B_k , 使其到 $T' = (\max(T_1, T_2) + (T - \mu))$ 的颜

色距离 $L(B_k, T')$ 最小, 然后令 $\max(T_1, T_2) = B_k$ 。反之, 如果 $S_i = 0$, 且 $\min(T_1, T_2) \leq \mu \leq \max(T_1, T_2)$, 保持两个像素索引值不变。

(6) 如果数据 S 的长度为 n , 则需重复 $8 \times n$ 次(1)~(5)的操作来完成数据的嵌入。

2.4 数据提取过程

某些传统的数据隐藏方法在提取签名信息时, 往往需要原始信息作参考^[3,4], 操作起来非常不方便。本文提出的方法只需根据最终嵌入后的图像就可以准确提取数据, 嵌入的数据可以是加密后的非固定长度的任意字符。设 E 是嵌有数据信息和脆弱水印的图像, B 是 E 排序后的调色板, S_i 是数据信息的第 i 位, 则提取方法如下:

- (1) 把 E 分割成若干 3×3 的图像块, 依次选择每个块的标志区域(见图 1), 命名其中的两个像素为 α_1 和 α_2 。
- (2) 在 B 中查找 α_1 和 α_2 得到对应的索引值 T_1 和 T_2 。
- (3) 找到块中心位置的像素索引值 μ 。
- (4) S_i 通过下式确定:

$$S_i = \begin{cases} 1, & \mu > \max(T_1, T_2) \text{ 或 } \mu < \min(T_1, T_2) \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (3)$$

数据长度为 n , 则重复 $8 \times n$ 次就可以得到对照信息的二进制格式 $S = S_1 S_2 S_3 S_4 \dots S_{n \times 8}$, 再解码就可以得出原始信息。

2.5 水印检测

设 E' 是被篡改的图像, B 是 E' 的排序调色板, $B_i(0 \leq i \leq 255)$ 是 B 中的某一种颜色, 其索引号为 i 。为了鉴别 E' 是否真被篡改, 首先把 E' 分成若干非重叠的 3×3 块, 找出每个块的中心像素 μ , 并在 B 中查出 μ 所对应的颜色 B_k , 其索引值为 k 。由 2.2 节的嵌入过程可知, 每个块的中心像素应被颜色索引为 Q 的整数倍所代替。也就是说如果图像没有被篡改过, 那么 k 应该是 Q 的整数倍, 相反就认为它遭受了篡改。为了便于定位篡改区域, 程序在发生篡改的部位反转像素颜色, 使其突出显示。由嵌入算法可知, 当 Q 越大时, 水印检测能力越强, 因为 Q 越大在调色板 B 中能够整除 Q 的颜色数就越少, 图像一旦遭受篡改, 在图像调色板能够找到匹配颜色几率很小, 从而增强了检测能力, 同理可知, Q 值越小时, 水印检测能力越弱。

3 试验结果

试验中, 图 2(a)“Lena”的大小为 512×512 , 没有嵌入数据信息, 图 2(b)是嵌入脆弱水印($Q=8$)和 1 200 个字符后的图像, 信噪比为 36.0, 从图中可以看出嵌入信息前后图像视觉效果良好, 图像保真度高。在图 3(a)中在原图像上加了些假发, 通过图 3(b)可以看出该图像中的脆弱水印可以准确地检测出图像的篡改部位。图 4 列出了在不同 Q 值下的脆弱水印, 在(c)、(d)中可以看到肩部和面颊的轮廓有部分失真, 这是因为 Q 越大调色板中能够匹配每个 3×3 块中心像素的颜色值越少, 同时 Q 越大, 图像的信噪比也越小, 它们之间的关系见表 2。

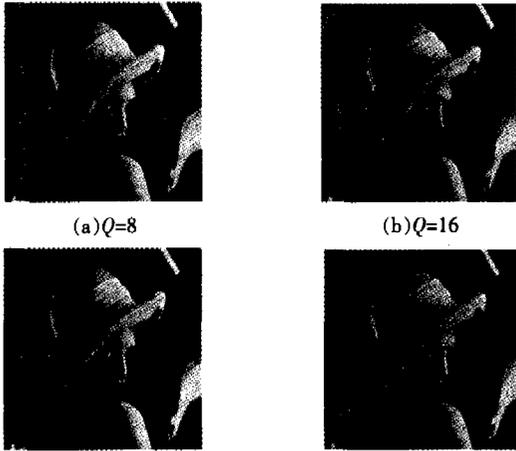


(a) 原始图像 (b) 嵌入脆弱水印和字符后的图像
图 2 水印嵌入和数据隐藏实验结果



(a)发生篡改的图像 (b)鉴别后的图像

图3 水印鉴别实验结果



(a)Q=8 (b)Q=16 (c)Q=32 (d)Q=64

图4 在不同Q值下嵌入脆弱水印后的图像

4 结语

本文提出了在调色板图像中同时隐藏数据和嵌入脆弱水

表2 Q值与信噪比

| 图像 | 图4(a) | 图4(b) | 图4(c) | 图4(d) |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| Q | 8 | 16 | 32 | 64 |
| 信噪比 | 38.4 | 33 | 32.0 | 29.6 |

印的方法,试验结果表明嵌入大量数据后图像仍具有较高的保真度,并能同时鉴别和定位图像的篡改,具有很好的可操作性和实用性,为研究调色板图像的水印提供了一种新的思路和探索方法。(收稿日期:2005年10月)

参考文献

1. COX IJ, MILLER ML, BLOOM J A. Digital watermarking[M]. USA: Elsevier Science, 2002: 50-64
2. NIIMI M, NODE H, KAWAGUCHI E. High capacity and secure digital steganography to platted-based images[C]. In: Proceeding of International Conference on Image Processing, 2002; 2: 917-918
3. M S Liaw, L H Chen. An effective data hiding method[C]. In: Proc IPPR Conf on Computer Vision, Graphics, and Images Processing, Taiwan, R O C, 2000; 146-153
4. P W Wong. A public key watermark for image verification and authentication[C]. In: Proc IEEE, International Conference on Image Processing, 1998; II: 455-459
5. Wang J, Ji L. A region data hiding based error concealment scheme for images[J]. IEEE Trans on Consumer Electronics, 2001; 47: 250-255
6. PAN G, WU ZH, PAN Y H. A data hiding method for few color images[C]. In: Proceeding of International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2002; 4: 3470-3472

(上接41页)

表2 表1中的4组数据

| 组别 | C | γ | 迭代次数 | 分类精度 |
|-----|-------|----------|------|------|
| 第一组 | 2^2 | 2^{-3} | 742 | 98% |
| 第二组 | 2^3 | 2^{-1} | 83 | 98% |
| 第三组 | 2^3 | 2^2 | 436 | 98% |
| 第四组 | 2^3 | 2^2 | 600 | 100% |

根据第一组数据得到的分类图形如图4。

根据第二组数据得到的分类图形如图5。



图4 根据第一组数据得到的分类图形 图5 根据第二组数据得到的分类图形

根据第三组数据得到的分类图形如图6。

根据第四组数据得到的分类图形如图7。

由图4~图7可见,第一组、第二组分类间隔线差别不大,基本接近。也就是说过大的C值(2^2)并不能提高分类精度,但却使迭代次数大大提高。而适度提高 γ 值(由 2^{-3} 提高到 2^{-1}),在C为适当的值(2^{-3})下,既可以提高分类精度又可以降低迭代次数。



图6 根据第三组数据得到的分类图形

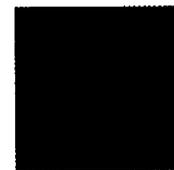


图7 根据第四组数据得到的分类图形

对第三组和第四组来说,当C值适当(2^{-3})时,若较大幅度提高 γ 值,可以很明显的提高分类精度(由98%提高到100%),但是迭代次数增加。尤其应该注意的是,分类间隔线形状明显扭曲,说明分类时确定判别决策函数的难度加大,对构造分类型SVM并不利。

6 结语

本文将离散时间系统的理论用于构造数据样本受时间影响的支持向量机,并作了基本分析,得到了一些重要的结论,这无疑是对支持向量机理论在一定程度上的改进,也是在此领域中的初次尝试。(收稿日期:2005年8月)

参考文献

1. 郑方,徐明星.信号处理原理[M].清华大学出版社,2000-09
2. 张学工译.统计学习理论的本质[M].北京:清华大学出版社,2000-09
3. http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm