

一种基于能量值的双彩色图像水印算法^①

杨运娇, 李兴民

(华南师范大学 计算机学院, 广州 510631)

摘 要: 提出了一种将彩色水印图像嵌入到宿主彩色图像的自适应水印算法. 该算法首先将宿主彩色图像分解为 R、G、B 三个分量并进行 8*8 分块 DCT, 再将彩色水印图像 R、G、B 各分量的能量值对应嵌入到宿主彩色图像 R、G、B 各通道中. 实验结果表明, 该算法具有较好的不可见性和鲁棒性.

关键词: 数字水印; RGB 色彩空间; 分块 DCT 变换

Watermarking Algorithm for Dual Color Images Based on the Value of Energy

YANG Yun-Jiao, LI Xing-Min

(School of Computer Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: In this paper, we proposed an adaptive image watermarking by embedding a color watermarking image into a host color image. We divide the R, G, B channel carries on 8*8 blocks separately and makes DCT for the host color image, then insert the value of each component' energy to three channels. The experimental results show that this algorithm has the good invisibility and robustness.

Key words: digital watermarking; RGB color space; block DCT

1 引言

数字水印技术是通过将特定的数字信息(如身份信息、序列号、文字或图像标志等)嵌入到图像、音频、视频或软件等数字媒体中, 以达到信息安全和版权保护的目 的. 目前, 对音频、视频和软件数字水印的研究还不是很成熟, 而图像数字水印是目前研究最成熟的载体水印^[1,2].

数字水印算法可分为空间域数字水印算法和频域(变换域)数字水印算法. 频域水印算法相对于空间域算法具有更好的不可见性和鲁棒性, 所以目前研究的热点主要集中在变换域水印算法. 变换域水印算法的思想是在图像的某个变换域上进行水印的嵌入和提取, 如基于 DFT 的水印算法、基于 DCT 的水印算法、基于 DWT 的水印算法等^[3-9]. 本算法选择基于 DCT 的水印算法, 因为它是频域数字水印的典型代表, 它 能将图像的可视信息都集中在 DCT 变换的一小部分系数中, 具有鲁棒性强, 隐蔽性好的特点, 而且能够很

好在抵抗压缩、剪切、加噪、滤波以及压缩等攻击.

对于彩色图像水印的嵌入算法, 文献[10]通过修改彩色图像的蓝色分量来隐藏水印信息. 但是, 由于 RGB 彩色图像进行 JPEG 有损压缩后, 红、蓝分量的能量损失较大, 在这两个分量中嵌入的水印信息容易丢失, 很难再提取出来, 从而降低了水印的鲁棒性. 考虑到人类视觉系统中对各分量变化的敏感特性不同, 文献[11]根据 HVS 的特性来调整水印的加权系数, 并将各分量的水印嵌入强度设为 R: G: B=2: 1: 4, 该算法提取出来的水印虽然具有较好的分辨性, 但对于不同的宿主彩色图像, 嵌入强度不能自适应地调整. 文献[12]根据人眼视觉敏感性的值计算嵌入强度, 该方法能自适应的在不同的 DCT 块中嵌入不同的水印能量, 但是算法比较复杂, 计算量也很大. 由于图像的能量值可以反映图像的整体特性, 所以本文提出了一种将彩色水印图像 R、G、B 三个分量的能量值作为嵌入强度的方法, 从而使水印嵌入强度的调整具有更好

^① 基金项目: 广东省和中科院产学研合作项目(2009B080701077)

收稿时间: 2012-01-14; 收到修改稿时间: 2012-02-23

的自适应性, 该算法简单易行, 具有较好的隐蔽性和鲁棒性.

2 水印的嵌入

本文的彩色图像采用的是 RGB 颜色模型, 考虑到人类视觉系统中对 R、G、B 三个分量变化的敏感特性不同, 本文通过计算彩色水印图像 R、G、B 三个分量的能量值(用 MATLAB 软件中的 norm()函数计算得到)作为嵌入强度, 嵌入到宿主彩色图像的 R、G、B 三个分量中, 从而使水印具有更好的自适应性, 并对各种几何攻击有很好的不可见性和鲁棒性.

本文所采用的水印嵌入算法流程图如图 1 所示:

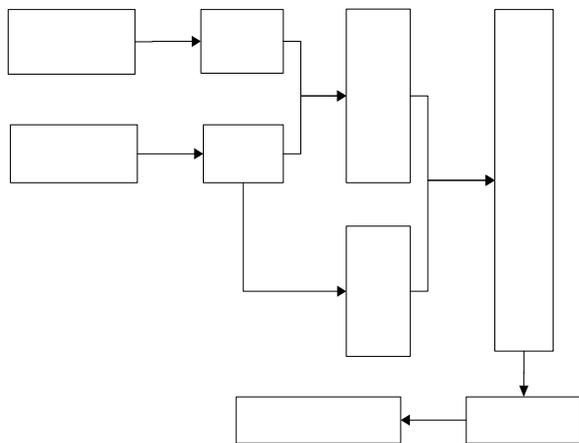


图 1 本文的水印嵌入算法流程图

假设原始宿主彩色图像为 $M \times M$ 的 I 图像, 彩色水印图像为 $M_c \times M_c$ 的 W 图像, 含水印的彩色图像为 I' 图像, $N \times N$ 代表分块的大小, 本文 $N \times N$ 的值设为 8×8 , 即进行 8×8 分块.

水印嵌入的具体步骤如下:

- 1)对原始彩色水印图像 W 进行 RGB 分量分离成 W_1 、 W_2 、 W_3 三个分量.
- 2)再利用 MATLAB 软件中的 norm()函数分别计算出 W_1 、 W_2 、 W_3 三个分量的图像能量值为 a_1 、 a_2 、 a_3 .
- 3)对原始宿主彩色图像 I 进行 RGB 分量分离成 R_1 、 G_1 、 B_1 三个分量, 再对 R_1 、 G_1 、 B_1 分别进行 $N \times N$ 分块, $R_1(i,j)$ 、 $G_1(i,j)$ 、 $B_1(i,j)$ 分别表示为 R_1 、 G_1 、 B_1 各分量的子块. 其中 $i,j=1,2,\dots,N-1$.
- 4)对每个 $R_1(i,j)$ 、 $G_1(i,j)$ 、 $B_1(i,j)$ 子块分别进行 DCT 变换, 然后水印图像的三个分量 W_1 、 W_2 、 W_3 中的每个像素点的值分别嵌入到 DCT 的低频系数中. 每个

$R_1(i,j)$ 、 $G_1(i,j)$ 、 $B_1(i,j)$ 子块的嵌入公式分别为:

$$R'(i, j) = R_1(i, j) + a * m_1 \tag{1}$$

$$G'(i, j) = G_1(i, j) + a * m_2 \tag{2}$$

$$B'(i, j) = B_1(i, j) + a * m_3 \tag{3}$$

其中, $W_1(i,j)$ 、 $W_2(i,j)$ 、 $W_3(i,j)$ 分别为 W_1 、 W_2 、 W_3 图像中的像素值, $i,j=1,2,\dots,N-1$, a_1 、 a_2 、 a_3 是步骤 2 计算出来的能量值, 把它们作为嵌入水印的嵌入强度.

5)进行二维离散余弦逆变换 IDCT, 得到嵌入水印后的 R' 、 G' 、 B' 三个分量, 再将 R' 、 G' 、 B' 三个分量进行融合, 从而得到嵌入水印后的彩色图像 I' .

3 水印的提取和检测

3.1 水印的提取是水印嵌入的逆过程

水印提取的具体步骤如下:

- 1)分别将原始宿主彩色图像和含水印的彩色图像分离成 R、G、B 三个分量并分别进行 8×8 分块 DCT 变换.
- 2)将宿主彩色图像和含水印的彩色图像经过 DCT 变换后的每个子块所对应的值分别在 R、G、B 三个分量上进行相减, 其值再分别除以 a_1 、 a_2 、 a_3 , 得到水印图像的三个分量的像素值.
- 3)将三个分量合成即为最终提取出来的水印图像.

3.2 检测

1)归一化互相关系数

要计算提取的水印图像和原水印图像的相似度进行检测的方法有很多, 如 NC 为互相关系数 (Normalized Cross-Correlation, NC), 其计算公式如下:

$$NC = \left(\sum_{i,j} W_{re}(i, j) * W(i, j) \right) / \sum_{i,j} w^2(i, j) \tag{4}$$

在式(4)中, $W(i, j)$ 和 $W_{re}(i, j)$ 分别表示原始水印图像和提取出来的水印图像的像素值, i, j 分别表示像素点在图像矩阵中的行数和列数. 如果相似度为 1, 则表明提取出来的水印图像与原始水印图像完全一致.

2)峰值信噪比

峰值信噪比 (PSNR) 用来定量评价含水印图像与原始宿主图像之间的失真度. 它的定义为:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{2.55^2}{MSE} \right) \tag{5}$$

计算各分量的能量值

分别嵌入到宿主图像各分量的 DCT 域中

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [f(i, j) - f'(i, j)]^2 \quad (6)$$

式中 M, N 分别为图像长宽的大小, $f(i, j)$ 为嵌入水印的宿主图像的像素值, $f'(i, j)$ 为原始载体图像的像素值, i, j 分别表示像素点在图像矩阵中的行数和列数.

对于彩色图像的峰值信噪比的计算, 本文先通过式(6)分别计算出 R、G、B 三个分量的均方误差 MSE1、MSE2、MSE3, 再对这三个值取平均即为总的 MSE 的值, 最后通过式(5)计算出最终的峰值信噪比.

4 仿真实验与鲁棒性分析

本文水印的嵌入、提取和一系列的攻击实验都是在 MATLAB 7.1、WindowXP 平台上实现的. 图 2 为 $512 \times 512 \times 24$ 的原始宿主彩色图像(Lena 和 Baboon 图像)以及 $64 \times 64 \times 24$ 的原始彩色水印图像(华南师范大学的校徽).



图 2 原始 Lena 图像和 Baboon 图像以及彩色水印图像



图 3 左为含水印的 Lena 图像及提取出来的水印图像, 右为含水印的 Baboon 图像及提取出来的水印图像



图 4 含水印的 Lena 图像经缩放、噪声、滤波攻击后提取出来的水印图像



图 5 含水印的 Lena 图像经剪切、JPEG 压缩、旋转 0.5 度攻击后分别提取出来的水印图像



图 6 含水印的 Baboon 图像经缩放、加噪、滤波攻击后提取出来的水印图像



图 7 含水印的 Baboon 图像经剪切、JPEG 压缩、旋转 0.5 度攻击后提取出来的水印图像

图 3 为从含水印的彩色图像中直接提取出来的水印图像, 图 4 至图 7 为在对含水印的彩色图像分别进行缩放、加噪、滤波、剪切、JPEG 压缩以及旋转攻击后提取出来的水印图像, 其在主观视觉上基本跟原始的水印图像十分相似. 表 1 为含水印的 Lena 和 Baboon 图像在不同攻击后提取出来的水印与原始水印的相似度(NC)和峰值信噪比(PSNR).

表 1 含水印的 Lena 和 Baboon 图像在不同攻击后的相似度(NC)和峰值信噪比(PSNR)

攻击方式	NC (Lena)	NC (Baboon)	PSNR (Lena)	PSNR (Baboon)
缩放	0.9731	0.9724	44.5118	44.5050
噪声	0.9102	0.9285	33.6759	36.6078
滤波	0.9731	0.9724	44.5118	44.5050
剪切	0.8135	0.8384	30.0183	29.9945
压缩	0.9636	0.9541	37.4714	39.2123
旋转	0.4858	0.4817	34.5601	30.6280

5 结语

通过对彩色图像水印嵌入强度的自适应性研究, 本文提出了一种将彩色水印图像各分量的能量值作为嵌入强度的方法, 该方法能简单可行地实现水印嵌入强度的自适应性. 实验结果表明, 提取出来的水印具有很好的可辨认性, 并能有效抵抗噪声、滤波、压缩、缩放以及剪切等几何攻击. 但本算法在提取过程中需

(下转第 231 页)

```

BSP_Init(); /* BSP 初始化*/
os_err=OSTaskCreate(
(void (*)(void*))App_TaskStart,
/*创建任务*/
(Void *) 0,
(OS_STK*)&App_TaskStartStk[APP_TASK_S
TART_STK_SIZE - 1],
(INT8U) APP_TASK_START_PRIO);
OSTimeSet(0);
OSStart(); /*开始执行多任务*/
return(0);
}
extern void LCD_L0_FillRect(int x0,int y0,int x1,int
y1);

```

4 结语

本文给出的是一个基于 nRF24L01 无线通信芯片的通用短距离无线数据传输解决方案, 此方案可方便

地进行移植, 以构建更为复杂的无线网络, 在实际应用中也能得到比较好的效果, 如无线智能家居控制系统, 无线抄表的应用等. 经过测试数据传输的距离可达到 60 米左右. 当在一些环境相对比较复杂的地方, 信号质量不好, 可以适当的加大电压调试(nRF24L01 的使用电压范围是 1.9~3.6V).

参考文献

- 1 王永虹,徐炜,郝立平.STM32 系列 ARM Cortex-M3 微控制器原理与实践.北京:北京航空航天大学出版社,2008.1-55.
- 2 喻金钱,喻斌. STM32F 系列 ARM Cortex-M3 核微控制器开发与应用.北京:清华大学出版社,2011.464-489.
- 3 龚剑.基于 ARM 的无线数据传输系统设计[硕士学位论文].长沙:国防科学技术大学,2008.
- 4 莱庆,王代华,张志杰.基于 nRF24L01 的无线数据传输系统.现代电子技术,2008,7:68-70.
- 5 Nordic.nRF24L01 Single Chip 2.4GHz Transceiver Product Specification.2th ed.2007.

(上接第 219 页)

要宿主彩色图像, 下一步将研究如何在提取水印时无需原始宿主图像, 同时在彩色图像中嵌入多个水印图像以实现版权和防篡改双重保护.

参考文献

- 1 Lu CS, Liao HYM. Multipurpose watermarking for image authentication and protection. IEEE Trans. on Image Processing, 2001,10(10):1579-1592.
- 2 杨义先.数字水印基础教程.北京:人民邮电出版社,2007.11-13.
- 3 Hernandez MC, Miyatake MN, Meana HMP. Analysis of a DFT Based Watermarking Alogorithm. Proc. of the 2nd Int'l Conference on Electrical and Electronics Engineering. 2005. 44-47.
- 4 姜楠,王健,钮心忻,杨义先,周锡增.HSI 鲁棒彩色图像数字水印算法.计算机应用研究,2006,23(1):224-226.
- 5 李诺,闫德勤.一种二维 DCT 彩色图像数字水印的新算法.计算机工程与应用,2007,43(2):3-45.
- 6 夏建平,周激流,何坤,刘昶,王东方.基于小波变换和 Tucker 分解的彩色图像数字水印.计算机应用研究,2010,27(2):798-800.
- 7 李继容,曾爱国.基于小波变换的彩色图像数字水印算法.计算机仿真,2011,28(5):246-249.
- 8 凌贺飞,卢正鼎,杨双远.基于 YCbCr 颜色空间的二维 DCT 彩色图像数字水印实用技术.小型微型计算机系统,2005,26(3):482-484.
- 9 Cox IJ, Kilian J, Leighton T, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia. IEEE Trans. on Image Processing, 1997,16(12):1673-1687.
- 10 Kutter M, Jordan F, Bossen F. Digital signature of color images using amplitude modulation. Proc. of the SPIE, EI97,1997.
- 11 刘挺,尤韦彦.一种基于离散小波变换和 HVS 的彩色图像数字水印技术.计算机工程,2003,29(4):115-117.
- 12 冯茂岩,冯波沈,春林.基于分块 DCT 变换和 Arnold 置乱的自适应图像水印算法.计算机应用,2008,28(1):171-173.
- 13 周熠.基于小波变换和视觉掩蔽的自适应水印方案.红外与激光工程,2004,33(5):524-527.