

面向便携式设备的数字水印检测方法

曾台英, 余正轩

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 为了适应便携式数字水印检测时高抗打印拍照扫描及低算法复杂度的要求, 提出一种基于 ARM 系统与基于离散小波变换和矩阵奇异值分解的数字水印算法相结合的便携式数字水印检测方法。**方法** 在基于 ARM 便携式系统中, 通过图像采集模块读取含水印图片信息, 利用 DWT-SVD 数字水印算法进行水印检测, 并在 LCD 上显示检测结果。**结果** 基于 ARM 处理器的便携式设备, 能够准确地检测出水印信息, 提取水印 NC 值可达到 0.7。**结论** 该方法具有较好的抗打印拍照性能, 且计算复杂度低, 能够应用于便携式数字水印检测设备。

关键词: 数字水印; 便携式设备; 离散小波变换; 奇异值分解

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)05-0277-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.05.038

Digital Watermark Detection Method for Portable Device

ZENG Tai-ying, YU Zheng-xuan

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: The work aims to a portable digital watermark detection method based on ARM system and singular value decomposition according to discrete wavelet transform and matrix, so as to meet the requirements of high anti-print photo-scanning and low algorithm complexity in portable digital watermark detection. In ARM-based portable system, image acquisition module was used to read watermark image information, DWT-SVD digital watermark algorithm was applied to detect watermark, and detection results were displayed on LCD. The portable device based on ARM processor could accurately detect watermark information, and extract the NC value of watermark of 0.7. The method has good anti-printing and photo-taking performance and low computational complexity, and can be applied to portable digital watermarking detection equipment.

KEY WORDS: digital watermark; portable device; discrete wavelet transform; singular value decomposition

随着信息技术的不断发展,数字水印技术因其具有不可见性和安全性的特点,在版权保护和内容认证等方面具有良好的应用价值,已经成为防伪识别的重要方法^[1]。现有的大多数水印检测过程都是通过扫描仪等图像读取设备,配合计算机程序软件来实现的,在水印检测的实时性、便携性等方面存在一定的不足。为了提高数字水印检测系统的便携性和水印检测速度,近年来已有学者提出便携式数字水印检测终端

的构想,如董艳彬等^[2]提出了一种 DCT (Discrete Wavelet Transformation, DWT) 域的数字水印算法及其在嵌入式系统中的设计方案,将水印进行混沌加密与置乱形成一维混沌序列,在载体图像的 DCT 系数中嵌入加密后的水印信息,并成功地将算法移植到以 ARM 芯片为主控制器的开发板上。该设计仅实现了在嵌入式设备中嵌入水印,无法实现对票据、防伪图标等印刷品上的数字水印进行检测。为了实现对印刷

收稿日期: 2018-07-30

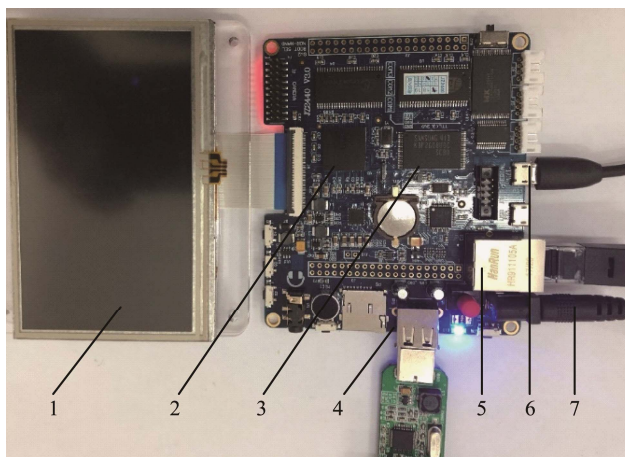
作者简介: 曾台英 (1978—), 女, 博士, 上海理工大学讲师、硕导, 主要研究方向为印刷质量检测与控制。

品上的数字水印的快速便捷的检测。文中基于构架的数字水印检测系统,分析总结在便携式系统中数字水印检测算法的要求,提出将离散小波变换和矩阵的奇异值分解的数字水印算法与基于 ARM 的数字水印检测硬件系统结合,实现图像获取、处理、水印提取,成功地在触摸屏上显示检测结果。

1 面向便携式设备的数字水印检测方法

1.1 便携式数字水印检测系统

基于对便携式数字水印检测设备工作性能的要求,该数字水印检测终端的硬件设计,以 ARM9 微处理器 S3C2440 为核心,主频可以达到 400 MHz。在其外围扩展一定的设备。该检测设备搭配有 USB 接口、16 针的 LCD 显示屏接口、用于人机交互的按键、触摸屏、指示灯等。该数字水印检测终端硬件构架见图 1。



1.LCD 触摸屏 2.S3C2440 主控芯片 3.Nand Flash 存储芯片 4.图像采集模块接口 5.网口 6.串口 7.电源

图 1 系统硬件构架系统
Fig.1 Hardware architecture of the system

1.2 数字水印检测方法

采用基于 ARM 芯片作为控制核心,实现该便携式数字水印检测终端的控制和运算,通过图像采集设备直接读取含水印的载体图像,拓展了触摸屏用作人机交互界面。便携式水印检测方法流程见图 2。

考虑到 ARM 的嵌入式系统硬件资源的有限性,嵌入式软件与其他应用软件的主要区别在于嵌入式软件要有较高的效率,包括执行速度和存储空间。水印图像经打印扫描后会遭受严重的失真,导致载体信息发生较大的变化,破坏载体中的水印信息,这就要求算法具有很强的鲁棒性,因此该水印检测算法应尽可能的降低算法时间复杂度并且同时兼顾抗打印特

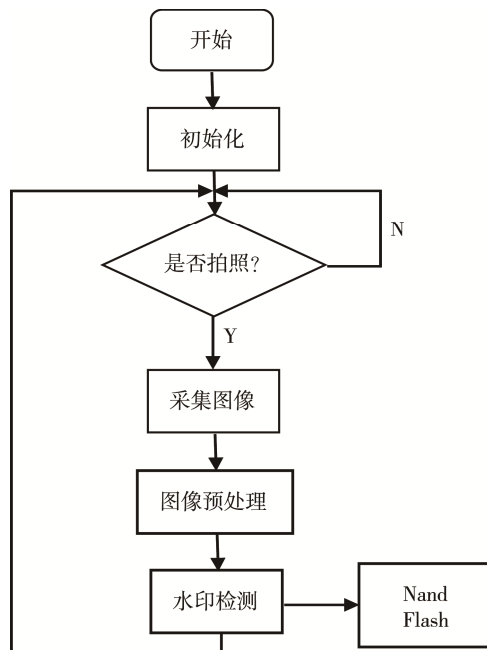


图 2 水印检测方法流程
Fig.2 Watermark detection method flow

性,鲁棒性和不可见性。

近年来众多学者针对数字水印算法技术进行了广泛的研究,但若直接将这些算法移植到上述的嵌入式水印检测装置,仍存在许多不足。如周中原等^[3]通过傅里叶-梅林变换具有的抵抗常见几何攻击的性质,再引入双随机相位全息加密技术,使得水印能抵抗常见的几何攻击,但该算法计算量大不适合应用在现阶段的便携式设备上。郭倩等^[4]提出一种基于 DCT-SVD 的 QR 码数字水印算法,以 QR 码图像作为水印载体嵌入载体图像中,提高了水印的嵌入容量,并且利用 QR 码自身拥有纠错性能抵抗各种攻击,该算法计算简单但抗几何攻击性能仍有不足。文中采用了一种基于离散小波变换(DWT)的数字水印算法,利用离散小波变换的能量集中特性结合奇异值分解(Singular Value Decomposition, SVD)的稳定性提高算法的鲁棒性。

2 算法原理

2.1 离散小波变换

与傅里叶展开级数相似,小波级数展开将一个连续变量函数映射为一系列系数。如果待展开的函数是离散的(即数字序列),得到的系数就称之为离散小波变换(DWT)^[5-6]。例如,对于离散数字序列 $f(n) = f(x_0 + n\Delta x)$, $n=0,1,2,\dots,M-1$ 的正向 DWT 系数展开式(1),其中 $f(n)\psi_{j_0}$ 是小波基。

$$W_{\Psi}(j_0, k) = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum f(n) \psi_{j_0} \quad (1)$$

离散小波变换是对连续小波平移和尺度离散化。能够在不同尺度上分析数字信号。DWT 变换算法具有良好的能量集中特性,小波分解的数据传递见图 3。

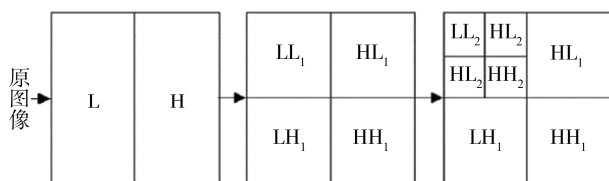


图 3 小波分解的数据传递

Fig.3 Transmission of data decomposed by wavelet

小波系数的低频部分即 LL 子带占据图像的大部分能量,它最接近于原始图像,不易受到攻击。高频子带主要是图像的边缘和纹理信息,在该子带中嵌入水印,水印算法的鲁棒性较差,受到攻击后水印信息容易丢失,因此,在低频子带嵌入水印信息可以提高水印的鲁棒性^[7-9]。

2.2 奇异值分解

矩阵的奇异值分解 (SVD) 在图像压缩、信号处理和模式识别等领域中具有广泛的应用。在图像处理中,一幅图像可以用矩阵来表示,现将图像 A 用一个 $N \times N$ 的矩阵表示,则 A 的奇异值分解为:

$$A=USV' \quad (2)$$

式中:矩阵 U 和 V 分别为矩阵 A 的左右特征向量;奇异值矩阵 S 为对角阵,矩阵 S 的可以表示为

$$S=\begin{pmatrix} D & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, D=\text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_r), \text{ 其中 } \lambda_r \text{ 是矩阵 } S$$

的特征值。当图像矩阵受到转置、平移等几何攻击时,奇异值矩阵变化很小,因此将水印信息嵌入到载体图像的奇异值矩阵中,可以起到保护水印的作用,提高数字水印的鲁棒性^[10-13]。

3 水印的嵌入和提取

文中设计水印算法的主要目的是作为印刷制品的数字水印检测方案,故选用 CMYK 格式图像作为载体图像。水印嵌入算法流程见图 4。

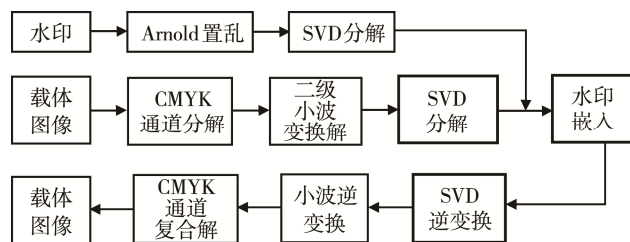


图 4 水印嵌入算法流程

Fig.4 Algorithm flow chart of watermark embedment

水印的嵌入算法如下所述。

1) 基于 Arnold 算法,对原始水印信息进行置乱加密,得到加密后的水印图像。

2) 对原始载体图像进行分通道运算,对各个通道分量分别做离散小波变换,将分解得到的低频子带分别进行小波分解运算。对小波分解后的二级低频子带进行 SVD 分解,获得奇异值矩阵 S 和各自的特征向量矩阵 U, V。

3) 对水印图像也做 SVD 分解获取其奇异值矩阵 S_w 和特征向量矩阵 U_w, V_w 。保存 S, U_w, V_w 作为密钥 key。

4) 将水印图像的奇异值矩阵分别通过加性原则计算加入到各通道的奇异值矩阵中,即 $S'=S+t \times S_w$ 。

5) 对 S' 做 SVD 逆变换和小波逆变换,得到含水印图像。

水印的提取是从包含水印的图像中提取出水印信息,是水印嵌入过程的逆过程。水印提取算法流程见图 5。

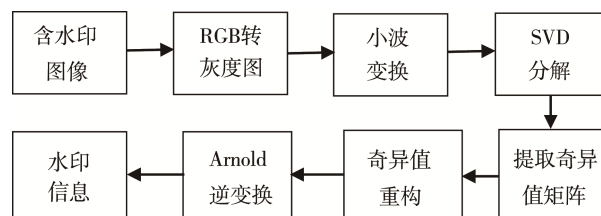


图 5 水印提取算法流程

Fig.5 Algorithm flow chart of watermark extraction

水印提取算法具体步骤如下所述。

1) 将拍照获取到的含水印图像由 RGB 转为灰度图像^[14-15],做小波变换。

2) 对所得的低频子带进行奇异值分解,得到奇异值矩阵。

3) 载入密钥,按照嵌入水印的逆运算提取出水印图像的奇异值矩阵。配合密钥中的 U_w, V_w 矩阵,对 S 进行奇异值重构 $w=USV'$ 。

4) 对 w 进行 Arnold 逆变换,获取水印图像 W。

4 实验与分析

4.1 ARM 系统仿真实验

为了实际验证该算法在对打印并拍照扫描后的数字水印的检测质量,现将嵌入水印后的载体图像经过打印拍照攻击,再进行水印检测。打印机分辨率越高,其打印输出效果越好,可保留更多的图像信息。当打印分辨率提高到一定程度后对水印提取的准确率影响并不明显。与打印机分辨率类似,摄像头的分辨率越高其所能保留的图像信息越丰富,越容易提取出水印,因此以在选取打印和拍照分辨率时,选取适当的中间值即可。

在 ARM 处理器的便携式系统上进行数字水印检

测,需要将上述 DWT-SVD 水印算法借助 Open Source Computer Vision Library(OpenCV)实现 C 语言代码。OpenCV 是开源的计算机视觉和机器学习库,提供了 C++, C 等多种语言接口和开发平台,是开发图像处理相关应用不可或缺的工具^[16]。

4.1.1 图像预处理

对打印后的含水印载体图像进行拍照扫描。对受到旋转攻击的载体图像进行矫正预处理操作,文中采用基于 Radon 旋转校正的图像预处理方法。基于 Radon 变换的图像垂直校正的算法流程见图 6。

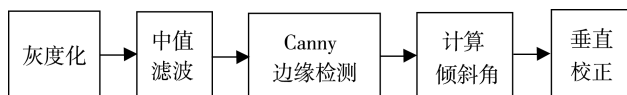


图 6 Radon 变换算法流程

Fig.6 Algorithm flow chart of Radon transformation

首先将采集到的 RGB 图像转为灰度图像,随后进行边缘提取,计算出采集到图像的垂直倾斜角,进行垂直校正。再把校正过程中扩容产生的黑边切除,即可完成图像的预处理操作。经过预处理后的图像见图 7。

4.1.2 水印提取

实验选取 4 幅不同的像素大小为 512×512 的 TIF 格式图片作为载体图像,分别在其中嵌入像素大小为 128×128 标有“USST”字符的二值水印图像,打印后使用基于 ARM 的数字水印检测终端对含水印载体图像进行拍照,并提取水印。对每一幅载体图像进行 5 组水印检测实验。部分实验结果展示见图 8。如图 8 所示,对于不同的载体图像,文中所述的数字水印检测方法均能够有效地检测出水印图像,且图像包含的水印信息清晰可分辨。



图 7 预处理结果

Fig.7 Results of pretreatment



图 8 水印提取实验结果

Fig.8 Results of watermark extraction experiment

4.2 性能分析

采用相关失真度量中的归一化相关系数 (Normalized Correlation, NC) 作为原始水印图像和提取出的水印图像的比较函数,评价该水印算法的鲁棒性。一般来说, NC 值越接近 1, 说明提取出的水印信息越清晰。在基于 ARM 处理器的便携式水印检测系统中对该水印检测方法进行实验,提取水印图像 NC 系数见表 1。

表 1 水印图像 NC 值
Tab.1 NC coefficient table of the watermark image

图像	序号1	序号2	序号3	序号4	序号5
Lena	0.672	0.657	0.718	0.689	0.790
Baboon	0.652	0.779	0.665	0.732	0.745
Airplane	0.768	0.647	0.792	0.670	0.676
Peppers	0.725	0.646	0.701	0.751	0.705

实验结果表明,文中提出的面向便携式设备的数字水印检测方法真正实现了数字水印的便携式、一体化、实时性检测。提取到的水印图像的 NC 值在 0.7 左右,提取到的水印图像包含信息主观可分辨,该方法能够准确进行水印检测,并且从拍照获取含水印图像到提取出水印信息耗时间较短,单次分步骤操作的全过程所用时长不超过 30 s,能够满足便携式设备实时性要求。

5 结语

提出了一种面向便携式设备的数字水印检测方法,将 DWT-SVD 数字水印算法,与便携式检测终端相结合。在基于 ARM 便携式水印检测系统中对该方法进行测试,通过多次试验,提取到的水印图像 NC 值最高可达到 0.7 且耗时较短,水印检测结果具有较好的实时性和准确性。实验表明该算法具有较好的抗打印拍照性能,且算法复杂度低,能够应用于便携式数字水印检测设备,实现了数字水印的便携式、一体化、实时性检测。

参考文献:

[1] 肖俊,王颖. 自适应抖动调制图像水印算法[J]. 电子与信息学报, 2009, 31(3): 552—555.
XIAO Jun, WANG Ying. Adaptive Dither Modulation Image Watermarking Algorithm[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2009, 31(3): 552—555.

[2] 董艳彬. DCT 域数字水印算法及其嵌入式系统的设计方案[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2009.
DONG Yan-bin. The Digital Watermarking in DCT

Domain and the Implementation Plan of Embedded System[D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2009.

[3] 周中原, 孙刘杰, 王文举, 等. 抗几何攻击的强鲁棒性全息水印研究[J]. 包装工程, 2014, 35(5): 131—136.
ZHOU Zhong-yuan, SUN Liu-jie, WANG Wen-ju, et al. Holographic Digital Watermarking Algorithm against Geometric Attacks with Strong Robustness[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(5): 131—136.

[4] 郭倩, 陈广学, 陈奇峰. 基于 DCT-SVD 的双 QR 码水印防伪算法[J]. 包装工程, 2015, 36(17): 119—125.
GUO Qian, CHEN Guang-xue, CHEN Qi-feng. Double QR Code Watermarking Algorithm Based on DCT-SVD[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(17): 119—125.

[5] CHEN H K, CHEN W S. GPU-accelerated Blind and Robust 3D Mesh Watermarking by Geometry Image[J]. Multimedia Tools and Applications, 2016(16): 1—20.

[6] YAN W. Blind Watermarking Algorithm Based on Wavelet Transform and Visual Perception Characteristics[J]. Journal of South China University of Technology, 2005, 33(4): 29—33.

[7] 张雷洪, 唐波, 李碧程, 等. 基于 DWT-SVD 的强鲁棒全息水印算法研究[J]. 包装工程, 2013, 34(21): 105—109.
ZHANG Lei-hong, TANG Bo, LI Bi-cheng, et al. Strong Robustness Holographic Watermarking Algorithm Based on DWT-SVD[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(21): 105—109.

[8] WANG Jin-wen, LIAN Shi-guo. Hybrid Multiplicative Multi-watermarking in DWT Domain[J]. Multidim Syst Sign Process, 2017(28): 617—636.

[9] 于海娇, 孙刘杰, 李毓彬, 等. 基于 QR 码的 DWT-SVD 数字水印算法[J]. 包装工程, 2015, 36(23): 125—129.
YU Hai-jiao, SUN Liu-jie, LI Yu-bin. Digital Watermark Algorithm with DWT-SVD Based on QR Code[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(23): 125—129.

[10] 王晓红, 许诗旻. 基于 W-SVD 的强鲁棒性复制图像水印算法[J]. 包装工程, 2012, 33(11): 113—119.
WANG Xiao-hong, XU Shi-yang. Digital Image Watermark Algorithm with Strong Robustness Based on W-SVD[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(11): 113—119.

[11] 孙业强, 王晓红. 基于 QR 码和 DWT-SVD 技术的双彩色盲水印算法[J]. 包装工程, 2017, 38(11): 193—198.
SUN Ye-qiang, WANG Xiao-hong. Double Color Blind Watermarking Algorithm Based on QR Code and DWT-SVD[J]. Packaging Engineering, 2017, 11(38): 193—198.

[12] CHUNUA L. A Blind Digital Image Watermarking

- Algorithm Based on DCT[C]// Smart and Sustainable City 2013 (ICSSC 2013), IET International Conference on, Shanghai, 2013: 446—448.
- [13] AMIRI S H. Robust Watermarking Against Print and Scan Attack Through Efficient Modeling Algorithm[J]. Signal Processing Image Communication, 2014, 29(10): 1181—1196.
- [14] NGUYEN T H, DUONG D M. Robust and High Capacity Watermarking for Image Based on DWT-SVD [C]// Computing & Communication Technologies Research, Innovation, and Vision for the Future (RIVF), 2015 IEEE RIVF International Conference on, Can Tho, 2015: 83—88.
- [15] 胡亚萍. 印品全息水印防伪信息采集与识别技术的研究[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2015.
HU Ya-ping. Research on The Acquisition and Recognition Technology of Holographic Watermarked anti-counterfeiting Printing Information[D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2015.
- [16] 王晓龙, 穆春阳, 马行. 基于 OpenCV 的嵌入式自动捡乒乓球系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(11): 3861—3866.
WANG Xiao-long, MU Chun-yang, MA Xing. Automatic Picking up Table Tennis Embedded System Based on OpenCV[J]. Computer Measurement & Control, 2015, 23(11): 3861—3866.