



TEXAS INSTRUMENTS

Technology for Innovators™

2008年

TI DSP

大奖赛获奖成果汇编

大奖赛组委会 编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

2008 年TI DSP大奖赛

获奖成果汇编

大奖赛组委会 编

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 • BEIJING

内 容 简 介

本论文集是对“2008 年度 TI DSP 大奖赛”设计作品的总结。在所有参赛作品的论文中,它们基于 TI 的 DSP 处理器产品,结合实际应用,并融入了设计者创新的思想方法和设计理念,是当代先进信号处理技术在多个领域中应用的范例的集合。本论文集介绍了每个参赛作品的设计思路、实验方法、实现过程和结果分析,并论述了各选题的工程实用性、创新点和实现难点。

本书适合电子工程技术人员,电子、通信与控制等相关专业的在校师生阅读。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

2008 年 TI DSP 大奖赛获奖成果汇编 / 大奖赛组委会编. —北京: 电子工业出版社, 2008.9
ISBN 978-7-121-07213-0

I. 2… II. 大… III. ①数字信号—信号处理—文集 ②数字信号—微处理器—文集
IV. TN911.72-53 TP332-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 118550 号

责任编辑: 竺南直 特约编辑: 熊小芸

印 刷: 北京市天竺颖华印刷厂

装 订: 三河市金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 36.75 字数: 940 千字

印 次: 2008 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 3000 册 定价: 59.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zits@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

2008 TI DSP 大奖赛

TI DSP 大奖赛是国内乃至国际历史最为悠久、规模最大、水平最高的 DSP 竞赛。大赛宗旨在于使中国的大学生能掌握先进的数字信号处理系统设计技术，激励工程专业的学生使用 DSP 产品进行创造性的功能设计，培养大学生的创造能力、协作精神和理论联系实际的学风，促进校际之间在 DSP 系统科研与教学上的交流。

大赛每两年举办一次，竞赛形式为自由命题，凡基于 TI 任一型号 DSP 芯片所设计的应用系统或算法实现，均可以参赛。竞赛分成系统应用和算法实现两个大组，其中参赛“系统应用组”的队最终成果是包括自行设计的硬件和软件的完整演示系统，参赛“算法实现组”的队参赛题目可以在商业化硬件仿真工具上运行并有应用目标的算法实现。预赛阶段比赛，由参赛队提供一份完整的设计报告，由专家教授组成的评委会根据公平、公开、公正的原则对设计报告进行评审，确定最终入围决赛队伍。决赛期间，参赛队伍须经过项目陈述、答辩及现场演示环节，评审专家对参赛队伍的答辩质量、项目创新性、难度、合理性、实用性等指标进行评审，以确定最终获奖队。随着竞赛规模的不断扩大，水平不断提高，此项赛事吸引了越来越多的学校、教师和学生参加，也受到越来越多企业的关注。

由德州仪器 (TI) 公司主办、电子科技大学承办的 2007—2008 年度“TI DSP 大奖赛”经过一年的激烈角逐，在电子科技大学圆满落下帷幕。这次的比赛共有 130 余所大学的 200 多支代表队报名参赛，创历年届赛事之最。经过初赛，最终共有来自全国三十多所高校的 44 支代表队入围了最后的决赛。经过评审专家的仔细评审，最终来自合肥工业大学代表队的项目“基于 DM642 的疲劳驾驶实时监测系统”获得本届大赛系统设计组一等奖，来自复旦大学代表队的项目“视频跟踪算法在 Davinci SOC 上的实现与优化”获得本届大赛算法实现组一等奖。另外本次决赛还设了“最佳创意奖”、“最佳演示奖”、“最佳答辩奖”、“最佳团队合作奖”等单项奖励。

德州仪器公司全球副总裁林坤山博士、首席科学家 Dr. Gene Frantz、亚太区市场总监丁毓麟先生、亚洲大学计划部经理沈洁女士及电子科技大学朱宏副校长和中国工程院李乐民院士等校领导参加了颁奖典礼，并为获奖队颁奖。

德州仪器副总裁林坤山博士表示：这次竞赛，是德州仪器和中国高校合作十余年来成果的一次检阅。这次竞赛的参赛队之多，项目涉及领域之广，学术水平和技术水平之高，贴近市场的程度，都充分体现了 DSP 技术在我国的高新技术、产业发展及人才培养等各方面所取得的丰硕成果。希望大赛能一届更胜一届，对高校创新人才培养起到积极的推动作用。

TI 大学计划在中国骤然绽放

德州仪器公司 (TI) 成立于 1930 年, 设计并生产模拟器件、数字信号处理 (DSP) 及微控制器 (MCU) 半导体芯片, 是模拟器件解决方案和数字嵌入及应用处理半导体解决方案领先的半导体供应商。作为全球半导体产业的巨人, TI 领先的 DSP 技术和高性能模拟器件技术, 堪称业界翘楚, 并为满足客户在现实世界中信号处理的需要提供了强大的动力引擎。在 TI 的全球战略中, 大学计划是其极为重要的组成部分。多年以来, TI 不遗余力地在全球范围内推行其“大学计划”, 通过面向大学这个科技摇篮, 采取多种手段与措施, 培养出了大批掌握世界先进技术的高级专业人才, 大大推进了 DSP 技术和高性能模拟器件技术在全世界的广泛应用。

TI 在中国的大学计划始于 1997 年, 是一项长期的战略性计划, 旨在通过对中国教育和研究的投入, 使中国的大学和研究机构掌握最先进的模拟技术、数字信号处理技术和单片机技术, 支持素质教育和科技创新, 并促进产学研相结合。TI 的中国大学计划最先从 DSP 技术领域开始, 经过 10 多年的努力, 截止 2007 年年底, TI 在中国的 141 所大学里已经建立了 160 余个 DSP 技术实验室, 每年这些 DSP 实验室将培养 24 000 余名本科生及硕士研究生。十年以来, 共有 85 本教材, 650 余篇论文和 500 余项科研成果从实验室里诞生, 可谓硕果累累。除了实验室建设, TI DSP 大学计划还开展全国 DSP 设计大赛, 全国教育者年会, 国际交流和助学基金等活动。2007 年 10 月, TI CEO 理查德·谭普顿先生来访中国, 宣布核心大学计划在中国正式启动, 这标志着 TI 将继续扩大对中国教育界的投入, 包括现有的清华大学、上海交通大学、电子科技大学三所技术中心将成为 TI 全球核心大学伙伴, 同时从 2008 年起将设立创新项目基金和杰出教育者奖项等活动。而 TI 大学计划也正式扩展到模拟技术和单片机技术领域, 进一步支持中国大学的全面创新。

展望未来, TI 大学计划将继续不遗余力地推动最新半导体技术在中国大学的应用和创新, 祝愿德州仪器与中国大学共创 DSP 和模拟技术新世纪的辉煌!

前 言

随着数字化的进程，数字信号处理（DSP）技术的发展与应用越来越广泛与深入。让越来越多的在校学生和在职工程师熟练地掌握 DSP 技术，也成为大学的教育工作者和企业领导者的共识。

德州仪器（TI, Texas Instruments），是世界DSP技术的领先者，在积极与国内企业合作开发符合中国市场需求的产品的同时，不断推进数字信号处理解决方案(DSP)的大学计划，以配合中国工程院校教育和研究项目，使中国的大学和研究机构掌握最先进的DSP与模拟器件技术，促进产学研结合。

TI DSP 大奖赛是“德州仪器大学计划”的经典项目，是国内历史最悠久、规模最大、影响也最大的 DSP 赛事，每两年举办一次，深受电子工程领域广大学生和教师的欢迎，也越来越受到企业界的关注。

2007-2008 TI DSP 大奖赛，由电子科技大学承办。大赛仍然采用自由组队、自由命题的形式。竞赛分成系统应用和算法实现两个大组，报名参赛“系统应用组”的队，最终成果是包括硬件和软件的完整演示系统；报名参赛“算法实现组”的队，参赛题目可以是在商业化硬件仿真工具上运行并有应用目标的算法实现。

2007 年 4 月，本届大赛的公告一公布，就受到广泛的关注。报名日期截止时，共有 130 余所大学的 180 余个队报名参赛。

2007 年 12 月，由大赛组委会聘请资深教授和专家组成的评委会，根据公平、公开、公正的原则，通过认真评审，确定了 44 支决赛入围队。

2008 年 4 月，本届大奖赛的决赛在电子科技大学举行，决赛入围队进行了激烈的角逐。每个队向评委会作了项目报告，进行了答辩，并作了公开的现场演示。

评委会根据各参赛队的论文、报告、答辩、以及演示的情况，经过严格评审，最终确定了各获奖队。

TI 公司的高层领导和高级技术专家、电子科技大学的领导和专家、一些企业的领导人观摩了本次决赛。

评委会的专家和参加观摩的专家一致认为：这次大赛参赛面大；参赛选题广泛，涉及几乎所有当前研究和开发的热点；完成项目的整体水平高，具有很高的技术水准和很好的完整性；选题与实际应用结合紧密。通过朝气蓬勃的参赛同学和他们展示的成果，充分展现了我国高校 DSP 教育的丰硕成果。

为了更好地总结和推广这次大奖赛的成果，大赛组委会和电子工业出版社合作，将参加决赛的项目报告汇统出版。其目的，一是记录本次大赛的历程和成果；二是为以后参赛的同学们的选题提供参考；三是为有关的企业提供项目开发的线索。

大赛组委会再次对承办此次大赛的电子科技大学表示诚挚的谢意，对参加比赛、决赛和获奖学校的同学们表示祝贺，对辛勤工作的评委会的专家们，电子工业出版社的编辑们，表示我们由衷的敬意和感谢。

大赛组委会
2008 年 5 月

目 录

上篇 算法实现篇

基于 DSP 的印刷数字水印认证算法

.....王玲 王晓建 晏飞 李治野 刘允 (3)

基于人脸识别的疲劳驾驶报警技术

.....雷蕾 刘月 胡定勇 张小欢 林静然 (17)

基于 Gabor 小波的人脸识别算法及其在达芬奇平台上的实现

.....沈琳琳 蔡晶 张烨妮 周萍萍 查日东 杨太康 (30)

视频跟踪算法在 Davinci SoC 上的实现与优化

.....胡波 潘吉彦 许俊泽 冯巍 杨成 (41)

手持式人脸识别器

.....黄柏球 谭恒良 黎剑飞 谭幸均 张文亮 (53)

一种新型彩色图像安全水印算法及其在 OMAP 上的实现

.....钱丰勇 张琳 高毅 (71)

基于 DaVinci 平台的智能视频检测跟踪与编码实现

.....鲁达 叶磊 吕慧 王兆闻 (82)

宽覆盖高分辨海底探测算法及其 DSP 阵列实现

.....周天 刘晓 朱建军 张淑娟 徐剑 沈彤茜 (96)

面向时变信号模型的科氏质量流量计数字信号处理方法实现

.....朱志海 李叶 朱永强 (113)

嘈杂背景下的机器人听觉定位与视觉跟踪技术研究

.....赵琛 吴天瑞 邹月娟 向军 万波 王巍 (127)

基于 DM642 的矢量量化算法研究及应用

.....王婷婷 乔瑞萍 潘志斌 李东平 乔阳 高飞 张拓 (143)

基于 AVS 标准的 IP 机顶盒终端算法软件实现

.....刘云海 雷晴 戚华飞 林宇 (162)

基于 TMS320DM6446 的 AVS 视频版权保护系统

.....凌贺飞 袁武钢 赵娟 王越 刘伟 (181)

基于 TMS320DM6446 的 AVS 算法实现

.....宋巍 王翠 曾桂三 李付江 裴科 (195)

用于远程立体视频会议系统的立体视频分割及跟踪算法在 DM642 上的实现

.....蔡灿辉 陈毅滨 (209)

数字视频修补算法研究及其在 DSP 上的实现

.....张红英 况忠林 李芳 (222)

基于 PCNN 的不规则区域编码在 DSP 上的实现

.....赵荣昌 苏茂君 余文锐 张红娟 马义德 (231)

基于软件无线电的 OFDM 系统基带信号处理 模块的设计与实现

.....孙黎 陈晨 邓炜 乔瑞萍 (243)

单通道地空通信干扰抑制系统的设计与实现

.....胡铁乔 吴鹏 宫利苹 (262)

AC-3 音频编解码算法研究

.....李欣 王伟 杨东明 姜强 陈存彪 (271)

下篇 系统应用篇

基于 TI-DM642 的疲劳驾驶实时监测系统

.....刘扬 卢晓红 杨立宾 (287)

用于海洋搜救的多片 DSP 图像处理识别系统研究

.....邵左文 毕文 王权黎 许兵 张云凯 张玉猛 (300)

基于 DSP 的智能实时目标跟踪系统

.....吴本涛 颜佳 刘小燕 徐维斌 (310)

基于 DM642 的智能视频监控系统

.....魏宗坤 朱彦伊 文锦松 李易 鲁玮 (319)

高分辨浅水多波束测深系统

.....么彬 陈宝伟 于海鑫 陈志纯 芦颖 翁宁宁 (333)

基于 C5509A DSP 实现的单波束双频超声波探鱼仪

.....李海森 张淑娟 李凤军 张波 李杨 杜伟东 (348)

基于 TMS320F2812 的传感器实时动态校正系统

.....杨双龙 张进 (361)

基于 DM642 的智能家居保姆

.....刘经纬 关伟 郁建 甄博然 高海辉 (379)

永磁同步电机伺服驱动控制器的研制

.....陈佳桂 罗彬 冯明昌 曾东荣 (391)

数字遥控爆炸及对讲系统的设计

.....陈鹏 邵怀宗 刘畅 (402)

人机对弈智能化机器人

.....柳宁 王高 冯元华 翁太伟 宁华宏 贺文健 (410)

自确认压力传感器的 DSP 实现

.....王祁 冯志刚 于明帅 范力维 (423)

旋转电弧轮式机器人空间变换算法焊缝跟踪系统

.....洪波 李湘文 周葵 (435)

数字式有源抗噪声耳罩

.....孙国华 岳莎莎 林琳 甄冬 田祥娥 (447)

基于数字图像处理的集装箱测量定位研究

.....周松 姜琳琳 宋春辉 王军宁 (458)

实时手势语义识别系统

.....李晓琼 张雄奎 王涛 费琼 (468)

基于达芬奇技术的有线接收高清晰度电视机顶盒

.....刘旭 田栋 刘占杰 丁海 高平 (479)

基于小波变换图像融合系统的设计与实现

.....俞建成 张荣锋 李建林 孙胜利 (487)

机器人主动视觉系统
.....刘成刚 张怡 (498)

基于 DSP 的电力线载波机实现
.....彭丽英 许昌发 卢柱芳 何迪 (506)

铁路轨道信号的发送与车载接收模拟系统
.....孔勇 杜普选 姜晓庆 赖女女 (517)

基于 DSP 的多功能 Holter 系统
.....廖红海 李蓁 周家锐 郑秀玉 曹新春 (534)

基于微波波谱及 DSP 技术的无创血糖检测仪
.....曹京 夏拓 段崔林 伊子健 (551)

基于无谐波检测的 SAPF 系统设计与实现
.....杨淑英 张龙云 邵文昌 曹伟 孙龙林 刘芳 (566)

上 篇

算法实现篇

基于 DSP 的印刷数字水印认证算法

王 玲 王晓建 晏 飞 李治野 刘 允

(电子科技大学通信与信息工程学院 UESTC-TI 技术中心, 成都 610054)

摘要: 本文提出了两种印刷数字水印的算法+系统方案: 一种是基于 TMS320VC5509A 的无意义数字水印算法。这套方案的特点在于能够快速检测印刷品的真伪, 功耗小, 便于携带。另一种是基于 TMS320DM642 处理器的有意义数字水印算法, 该套方案能够更加准确, 直观地对印刷品进行检测和认证。该设计已经被 2008 北京奥组委采纳成为奥运会门票的防伪技术之一, 也为国家大剧院提供了票务检测样机和技术支持, 并正在申请成为我国新版护照的防伪措施。

Abstract: This work proposes two algorithms and systems for printed digital watermarking, satisfying two different situations. One is Meaningless Printed Digital Watermark and corresponding system based on TMS320VC5509A DSP. This system excels in its fast detection time and low power consumption. The other is Meaningful Printed Digital Watermarking, which could give more accurate and intuitionistic detection results. The TMS320DM642 Processor is selected to realize this high performance algorithm. These designs have already been adopted as one of the two technologies used for 2008 Beijing Olympic Game tickets' anti-counterfeiting, and provides sample system and technical support for The National Centre for the Performing Arts, also currently is running for the bidding of RPC's new passport's authorization.

1 引言

随着网络技术的飞速发展和多媒体技术的广泛应用, 越来越多的数字作品以各种载体形式出现在我们面前, 它们的知识产权保护和防伪问题也日益成为国内外新技术研究的重点和热点。作为数字作品的重要组成部分——数字图像, 又以印刷品的形式传播得最多。而作为印刷品, 证件、门票和商品外包装等的防伪认证工作, 涉及了国家安全、知识产权保护及商业应用等众多领域。例如, 在奥运会开幕式中, 如果未能检测出假票, 将造成较大的损失, 带来极坏的影响。

数字水印 (digital watermarking) 技术, 指在数字作品中嵌入一定量的特殊标志信息, 以达到版权保护的目。在印刷品领域, 数字水印防伪特别突出了防伪唯一性和不可仿制性, 具有高保密性和随机性, 并且不改变原印刷品的视觉形象, 不改变现有成熟的印刷工艺, 不改变印刷材料与设备, 不增加印刷成本, 能够有效克服防伪领域中, 诸多技术科技含量不高, 升级慢, 随机性差, 易被破解的弊端。比如英国基于 RFID 的新版护照, 在启用之前即被破解, 而被迫召回, 造成巨大损失。因此, 印刷数字水印技术受到了越来越多的关注, 而这类技术势必在上述领域有着重大的应用价值。

目前图像数字水印算法包含两类：一类是空域算法。这类算法是将水印信息进行变换或置乱后^[1]，直接叠加在图像灰度矩阵上。嵌入和检测水印过程比较简便，计算量也很小。但因为这类算法的水印信息直接体现在灰度值的改变量上，为了达到视觉的隐蔽性，水印的强度会较弱，再加之水印信息和原始图像信息同样位于空域的一个子空间上，非常容易使水印淹没在信道（经过打印扫描）的噪声中。

另一类是变换域算法。离散余弦变换^[2]（Discrete Cosine Transform, DCT）和离散小波变换^[3]（Discrete Wavelet Transform, DWT）是变换域通常采用的方法。这些算法只是是一些数字图像通用的算法，更多的是抵抗人为造成的裁切、压缩等攻击，没有针对印刷品图像的特点进行改进，所以不能很好地解决印刷品防伪中，利用数字水印的问题。算法的开销大，很大程度影响了算法速度，导致在应用中实现不易。

本作品针对印刷品在制作和检测过程中，数字水印嵌入和遭遇攻击的特殊性，以及针对实际应用中速度和成本的考虑，提出了两个水印算法：一是基于混沌序列和奇异值分解的无意义印刷数字水印算法，用于快速大量检测水印的场合；二是基于奇异值分解的有意义印刷数字水印算法，适用于检测结果要求高可靠性的情况。因为（1）奇异值反映的是图像矩阵的整体特性，对剪切、缩放、移位等攻击具有较强的鲁棒性；（2）根据矩阵摄动理论，基于奇异值分解的算法对扫描过程中的采样与量化所带来的误差，表现出较强的鲁棒性；（3）经过对正当授权印刷品的直接复印或者扫描打印后得到非正当授权的印刷品（文中将这种非正当授权成为非法复制），RGB 三个通道的奇异值相关程度迅速降低，从而保证了水印对非法复制的易碎性。

2 算法详细介绍

2.1 印刷品打印扫描信道经验建模分析

与一般传统的，仅在数字域使用的水印不同，印刷数字水印需要对含水印图像进行打印以及对印刷图像进行扫描。在这个过程中，将极大地造成原有信息的失真和畸变：在打印时，需要将图像信号由 RGB 格式转换为 CMYK 格式，令图像失真；打印扫描的整个过程，可以建模成一个 D/A 转换，再 A/D 转换构成的信道，如图 1 所示。

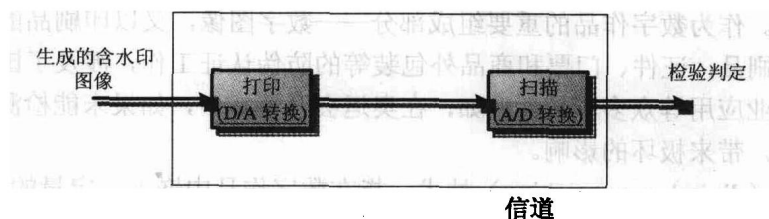


图 1 印刷数字水印的打印扫描模型

激光打印机或喷墨打印机输出图像时，除了由于色域转换产生的图像失真，还有其工作原理带来的图像失真。一般认为图像都具有一定的纹理，在图像的任何一个小局部，纹理在很大程度上是相似的，像素灰度值也是相近的，并且人眼视觉系统具有空间的低通特性。打印机正是利用这些特点，用一组打印点代表相同个数的一组像素，并通过这组打印

点综合出这些像素的整体灰度效果。同时，由半色调复合点的形状、激光束的扩散、纸张的吸水特性和光滑度等因素造成的半色调复合点变化（包括复合点增益和曝光），也常会导致输出图文变得模糊。

不管是使用扫描仪还是摄像头，接收图像时都不同程度地存在以下几方面的问题：整体反差失真、影像偏色、网纹、聚焦不准等。传感器的性能、A/D 转换器对传感器输出电压的采样能力及扫描分辨率，对输出图像的质量都有很大的影响。

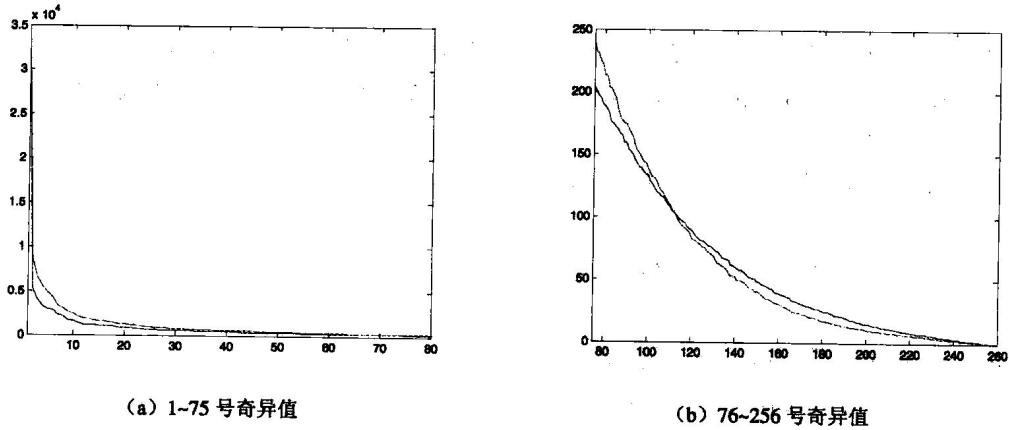
由大量的试验可以知道，整个打印扫描的过程（即图 1 中的标准信道）呈现出一种类似低通滤波器的特性，所得到的图像，原有的细节部分有一定损失。图 2 给出了一幅常用图像“lena”，大小为 256×256，100dpi 的分辨率，图 3 是经过打印扫描之后得到的图像，图像大小和分辨率与图 2 相同。



图 2 原始图像

图 3 经过打印扫描后的图像

比较图 2 和图 3 可以看出，图像在经过打印扫描之后，很多纹理的细节丢失了，例如模特头发。这是由于打印机会自动地使用色块代替局部的纹理变化进行打印，以及扫描仪的低通特性的结果，这一特点在颜色较深的区域，更加明显，对比可以看到图 3 中的黑色面积较之原图更大。图 4（图 4（a）和图 4（b）分别是 1~75 号奇异值和 76~256 号奇异值）给出了两幅图像奇异值的分布（其中蓝色对应图 2 的奇异值向量，记为 S22；红色对应图 3，记作 S23）。从图中可以看出，S23 中排列靠前的奇异值较 S22 大，而排列靠后的奇异值较 S22 小，这是由于图 3 里用色块代替具体纹理，导致表示图像整体部分的奇异值加强，局部特征减弱的原因。



(a) 1~75 号奇异值

(b) 76~256 号奇异值

图 4 原始和打印扫描图像的奇异值对比，蓝色对应图 2，红色对应图 3

除了信息损失之外，表征高频部分的奇异值本身较小，受噪声影响的相对误差较大。

因此,综合考虑之后,在算法的选取时,避免将水印加在图像底板的高频部分,以免信息的丢失和受到干扰而无法判断。同样,将水印信息置于表征低频分量的部分,会比较明显地改变图像的整体特性,达不到视觉隐藏的效果;也会由于低频分量出现失真而导致水印提取困难。从图中可以看出,最适合水印嵌入的位置,应该是在红色曲线和蓝色曲线相交的那一点。但是,出于对信息量的考虑,隐藏水印不是仅仅在一个点上可以完成的。在这种情况下,我们仍然选择了较低频分量,尽量避免高频分量,因为高频部分受到的干扰明显强很多。

针对不同的要求,我们设计了两套算法,无意义水印算法和有意义水印算法。下面分别讲述两种算法的流程。

2.2 无意义水印算法

2.2.1 算法流程

无意义水印的算法流程如图 5 所示。

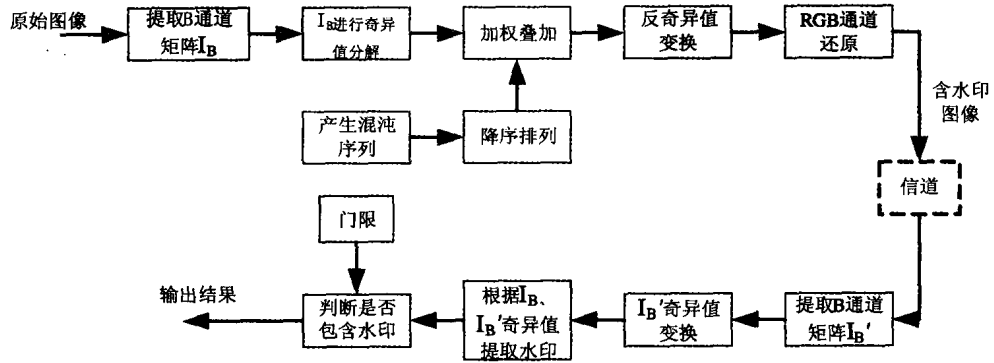


图 5 无意义水印算法流程图

2.2.2 水印嵌入算法

(1) 将原彩色图像的蓝色 B 通道信息提取出来, 转换成二维矩阵 I_B

由于在电脑中 RGB 格式图像以三维矩阵的格式存储, 我们先将蓝色通道信息提取出来, 并把三维矩阵转换成二维矩阵。

(2) 将矩阵 I_B 进行奇异值分解, 得到 U_B , S_B 和 V_B 矩阵, 它们满足:

$$I_B = U_B S_B V_B^T \quad (1)$$

(3) 利用 Logistic 映射的变形, 产生水印序列, 其生成式为:

$$M(n+1) = 1 - 2 * M^2(n) \quad (2)$$

水印序列的点数要少于 S_B 的阶数。

(4) 将水印序列按降序排列, 得到新的序列 M_{new} (叠加到奇异值序列后不会改变其大小排序), 然后按照一定比例, 将水印序列叠加到奇异值上去。由于奇异值中的最大值远远大于其他值, 对它作修改很容易影响到原图片的视觉效果, 因此从第二位奇异值开始加入水印序列。

$$\text{New_S}_B(i,i) = \begin{cases} \text{S}_B(i,i)(1+b*\text{M}_{\text{new}}(i-1)) & i=2,3,\dots,n \\ \text{S}_B(i,i) & i=n,n+1,\dots,r \end{cases} \quad (3)$$

其中, n 为水印序列的长度; r 为矩阵 S_B 的阶数, 显然, 必须有 $n < r$; b 为可调的系数, 通过调节 b 的值可以调整加水印对原始图像的视觉影响。

考虑到检测时的需要, 要记下调整矩阵, 将水印序列构成一个向量 $\mathbf{A}$ 。对 $\mathbf{A}$ 排序, 可以等效于对该向量进行列初等变换。因此, 一定可以找到一个方阵 $\mathbf{C}$, 与 $\mathbf{A}$ 相乘后可以完成排序的需要, 如:

$$\text{new_A} = \mathbf{C} * \mathbf{A} \quad (4)$$

找出该初等操作矩阵 $\mathbf{C}$, 求出其逆矩阵 $\mathbf{C}^{-1}$ 并记录下来。

(5) 重构 $\mathbf{B}$ 通道信息矩阵, 并将加水印后的 $\mathbf{B}$ 通道信息, 根据矩阵的最大值来选取合适的系数 a , 并还原成 $\mathbf{B}$ 通道图像。

$$\mathbf{I}_{\text{new}} = \mathbf{U}_B * \text{New_S}_B * \mathbf{V}_B^T \quad (5)$$

$$\text{RGB}(i, j, 3) = a * \mathbf{I}_{\text{new}}(i, j); \quad (6)$$

其中, i, j 为对应点的下标, $\text{RGB}(i, j, 1)$ 代表通道信息, $\text{RGB}(i, j, 2)$ 代表绿色通道, $\text{RGB}(i, j, 3)$ 代表蓝色。

(6) 加入 $\mathbf{R}$ 和 $\mathbf{G}$ 通道信息, 还原图像。

$$\text{RGB} = \mathbf{R} + \mathbf{G} + \mathbf{B} \quad (7)$$

2.2.3 水印检测算法

(1) 将检测到的图像的 $\mathbf{B}$ 通道提取出来转换成二维矩阵, 并乘上 $1/a$, 得到矩阵 $\mathbf{I}_B'$

(2) 对 $\mathbf{I}_B'$ 进行奇异值分解, 得矩阵 S_B' 。比较 S_B 与 S_B' 的大小, 若 $\text{S}_B'(i) > \text{S}_B(i)$, 则 $\text{flag_T}(i)=1$, 若 $\text{S}_B'(i) \leq \text{S}_B(i)$, 则 $\text{flag_T}(i)=-1$ 。

(3) 求 flag 和 flag_T 的相关值 corr , 并根据印刷品的特性设定一个门限 gate1 , 若 $\text{corr} > \text{gate1}$, 则认为检测到的图像是加水印后的图像, 继续进行以下的步骤, 判断其是否受到非法复制攻击。否则, 认为检测到的图像是与原始图像完全无关的图像, 直接判断为假票。

(4) 根据两个奇异值矩阵 (S_B 与 S_B') 的对角线元素来提取水印信息:

$$\text{new_M}(i-1) = \frac{1}{a} \left(\frac{\sigma_B'(i)}{\sigma_B(i)} - 1 \right) \quad i=2,3,\dots,n \quad (8)$$

new_M 即为检测到的经过排序变换后的水印序列。

(5) 将加入的原始水印序列按照矩阵 $\mathbf{C}$ 进行初等变换, 即:

$$\text{new_M}' = \mathbf{C}^{-1} * \text{new_M} \quad (9)$$

然后将 $\text{new_M}'$ 与原始水印序列 $\mathbf{M}$ 求相关, 检测其相关值是否大于一个事先根据印刷品特性而确定的门限 gate2 , 以判定该序列是否被非法复制过, 既而可以判定票证是真票还是复制票。

2.2.4 相关算法的比较

由于无意义算法仅给出“是”或者“非”的判断, 虚警率和漏报率就是最重要的性能