



Robust and efficient image watermarking via EMD and dimensionality reduction

Kun Hu¹ · Xiaochao Wang² · Jianping Hu³ · Danyang Li⁴ · Ling Du⁴ · Hongfei Wang⁵ · Hong Qin⁶

Accepted: 29 July 2021 / Published online: 18 August 2021

© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2021

Abstract

In the past decades, bi-dimensional empirical mode decomposition (BEMD) algorithms have been developed for the image watermarking task with good robustness and imperceptibility; however, the non-negligible algorithm efficiency has received little attention at the same time. In this paper, we devise a robust and efficient image watermarking algorithm based on 1D empirical mode decomposition (EMD) and dimensionality reduction via Hilbert curve. Converting the problem of two-dimensional image watermarking into the problem of one-dimensional signal watermarking promises to enhance the efficiency and the robustness of the proposed algorithm. Specifically, host image is first reduced into one-dimensional signal by the Hilbert curve. Our key insight is a dimensionality reduction strategy based on the Hilbert curve that preserves the spatial local relationship to the greatest extent possible. Second, the one-dimensional signal is segmented into several short signal intervals, and each of them is decomposed into several intrinsic mode functions (IMFs) and a residue by 1D EMD, which is much faster than BEMD. Third, the maximum or minimum points of the first IMF are chosen as the watermark embedding positions. For the watermark image, it is first encrypted by Arnold transform, which improves the security of the algorithm. And then, it is also transformed into one-dimensional signal correspondingly. A repeated embedding strategy is used in the embedding process to improve the algorithm's robustness. The final watermarked image can be reconstructed by the inverse Hilbert curve transform after integrating the modified first IMF, the remaining IMFs, and the residual. To improve the security and reduce the length of the key, Arnold transform and Huffman coding are adopted. The watermark extraction is the inverse of the embedding process without using the host image and watermark image. Comprehensive experimental results confirm that our new algorithm exhibits good robustness, efficiency, and high imperceptibility. Compared with the actual watermarking algorithms, the newly proposed watermarking algorithm not only reduces the computational expense, but also shows better performance in combating the cropping attacks, Gaussian noise, median filter, image enhancement attacks, etc.

Keywords Image watermarking · Empirical mode decomposition · Hilbert curve · Dimensionality reduction · Arnold transform · Huffman coding

✉ Xiaochao Wang
wangxiaochaol8@163.com

Kun Hu
ucas_hukun@163.com

Jianping Hu
neduhjp307@163.com

Danyang Li
tjpu_echolee@163.com

Ling Du
duling@tiangong.edu.cn

Hongfei Wang
whf@csuac.cn

Hong Qin
qin@cs.stonybrook.edu

¹ University of Chinese Academy of Sciences, 100049 Beijing, China

² School of Mathematical Sciences at Tiangong University, Tianjin 300387, China

³ School of Sciences at Northeast Electric Power University, Jilin 132012, China

⁴ School of Computer Science and Technology at Tiangong University, Tianjin 300387, China

⁵ Key Laboratory of Space Utilization, Technology and Engineering Center for Space Utilization, Chinese Academy of Sciences, 100094 Beijing, China

⁶ Department of Computer Science, Stony Brook University (State University of New York), Stony Brook, NY 11794-2424, USA



中国计算机学会会刊

ISSN 1003-9775

CODEN JFTXFX

计算机辅助设计与图形学学报

Journal of 计算机辅助设计 Computer-Aided 与图形学学报 Design & Computer Graphics

Vol. 34 No. 11 November 2022 | 第34卷 第11期 2022年11月

第三十四卷
第十一期
Vol. 34
No. 11
November 2022

科学出版社

中国计算机学会 主办
北京中科期刊出版有限公司



科学出版社
Science Press

计算机辅助设计与图形学学报

(Jisuanji Fuzhu Sheji yu Tuxingxue Xuebao)

第 34 卷 第 11 期 2022 年 11 月

目 次

图形与可视化

- 面向多相流模拟的体积通量无散度 SPH 方法徐衍睿, 王笑琨, 班晓娟, 王佳敏, 宋重明, 王勇 (1637)
- 结合体细分的复杂六面体网格模型交互式构造方法李勇杰, 吴海燕, 谢津, 何童, 计忠平, 徐岗 (1647)
- 面向科学文献同名消歧的可视化分析方法张鹏宇, 张勇, 崔言杰, 尹宝才 (1659)
- 基于自适应蒙皮变形的点云姿态迁移李明, 尹梦晓, 李桂清, 赵美, 杨锋 (1673)
- 单幅图像人手参数模型深度网络回归方法张惠敏, 李桂清, 柳雨新, 聂勇伟, 沈楚华 (1684)
- 基于 C/S 架构的倾斜摄影点云渲染汪听雨, 谭博文, 李文峰, 陈嘉炜, 张严辞 (1693)
- 多维度空间变换网络拓扑布局方法蔡婷, 王松, 刘亮, 易思恒, 韩永国 (1703)
- 多模态人体运动同步数据集程景铭, 谢文军, 沈子祺, 李琳, 刘晓平 (1713)
- 三角形网格序列表示的人体动作识别王辉, 宋佳豪, 丁铂桐, 何鹏, 曹俊杰 (1723)

图像与视觉

- 基于 BEMD 和 DFT 的遥感图像零水印算法徐依朋, 胡坤, 王小超, 胡建平 (1731)
- 结合多尺度通道注意力和边界增强的 2D 医学图像分割陈大千, 张凡, 郝鹏翼, 吴福理, 董天阳 (1742)
- 面向服装个性化定制的多视角轮廓三维人体快速重建方法张树有, 房乃玉, 袁乐淼, 刘艺舒, 王自立 (1753)
- 多尺度空间特征引导的服装关键点检测方法谢志峰, 周志鹏, 王兆胜, 丁辉明, 马利庄 (1763)
- 基于 RNN 和注意力机制的双向人体姿态补全方法杨樵韬, 聂勇伟, 张青, 李平, 李桂清 (1772)
- 基于区域检测和弧筛选的椭圆检测方法贾棋, 梁景朝, 王伟, 薛昕惟, 樊鑫, 罗钟铤 (1784)

虚拟现实与交互技术

- 鼻-颅底快速路径提取与自动导航韩靖, 孙晓宇, 惠筱, 王裕栋, 王淼, 骆岩林 (1795)

基于 BEMD 和 DFT 的遥感图像零水印算法

徐依朋¹⁾, 胡坤²⁾, 王小超^{1)*}, 胡建平³⁾

¹⁾(天津工业大学数学科学学院 天津 300387)

²⁾(清华大学深圳国际研究生院 广东 518055)

³⁾(东北电力大学理学院 吉林 132012)

(wangxiaochao@tiangong.edu.cn)

摘要: 为了解决传统图像水印算法对遥感图像进行版权保护时修改宿主图像的问题, 并提升遥感图像水印算法的鲁棒性, 提出一种基于二维经验模态分解(BEMD)和离散傅里叶变换(DFT)的遥感图像零水印算法。首先利用 BEMD 对宿主图像进行多尺度分解, 得到内蕴模态函数和余量, 并对余量信息进行 8×8 分块 DFT, 将高频系数构建系数图像; 然后使用 Arnold 变换对水印图像进行置乱处理, 提高水印图像的安全性; 再调整水印图像大小, 解决水印嵌入过程中宿主图像和水印图像在图像尺寸匹配上的问题; 最后将 DFT 分解的系数图像和水印图像进行异或操作构建特征图像, 实现遥感图像零水印的构建。选取大量遥感图像和水印图像进行实验, 结果表明, 所提算法能有效抵抗各类滤波、锐化、直方图均衡、伽马变换、噪声以及缩放等攻击。在 12 种攻击 60 种参数情况下, 95% 提取的水印图像与原始水印图像的归一化相关系数值超过 0.99。与传统遥感图像水印算法相比, 所提算法保证了宿主图像的无损性, 使保存在公证机构用来版权保护验证的特征图像不会对宿主图像造成任何破坏, 并具有较好的鲁棒性。

关键词: 二维经验模态分解; 离散傅里叶变换; 零水印; 遥感图像

中图分类号: TP391.41 **DOI:** 10.3724/SP.J.1089.2022.19183

Zero-Watermarking Algorithm for Remote Sensing Image Via BEMD and DFT

Xu Yipeng¹⁾, Hu Kun²⁾, Wang Xiaochao^{1)*}, and Hu Jianping³⁾

¹⁾(School of Mathematical Sciences, Tiangong University, Tianjin 300387)

²⁾(Shenzhen International Graduate School, Tsinghua University, Guangdong 518055)

³⁾(School of Science, Northeast Electric Power University, Jilin 132012)

Abstract: In order to solve the problem of modifying the host image when the traditional image watermarking algorithm protects the copyright of remote sensing image, and to improve the robustness of remote sensing image watermarking algorithm, a remote sensing image zero watermarking algorithm based on bi-dimensional empirical mode decomposition (BEMD) and discrete Fourier transform (DFT) is proposed. Firstly, BEMD is used to decompose the host image to get the intrinsic mode function and margin, and the residual information is divided into 8×8 blocks DFT, and the high frequency coefficients are constructed into coefficient images. Then Arnold transform is used to scramble the watermark image to improve the security of the watermark image. Then the size of the watermark image is adjusted to solve the problem of image size matching between the host image and the watermark image in the process of watermark embedding. Finally, the coefficient image decomposed by DFT and the watermark image are constructed into feature image by

收稿日期: 2021-06-21; 修回日期: 2021-09-13. 基金项目: 天津市高等学校基本科研业务费(2018KJ222); 浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室开放课题(A2105). 徐依朋(2000—), 男, 在校学生, CCF 学生会员, 主要研究方向为图像处理; 胡坤(1994—), 男, 博士研究生, CCF 学生会员, 主要研究方向为图像处理、航天器任务规划; 王小超(1987—), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, CCF 会员, 论文通信作者, 主要研究方向为计算几何、图形图像处理; 胡建平(1981—), 男, 博士, 教授, 硕士生导师, CCF 会员, 主要研究方向为计算机图形学、图像处理等。



ISSN 1001-5965

CN 11-2625/V

北京航空航天大学 学报

JOURNAL OF BEIJING UNIVERSITY OF
AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS



2023-01

Vol.49 No.1

北京航空航天大学学报

第 49 卷 第 1 期 (总第 359 期) 2023 年 1 月

目 次

车辆与二轮车预碰撞场景分析及其 AEB 优化	徐向阳, 胡文浩, 张友, 王书翰, 何霞, 曹毅 (1)
基于随机空间网络的无人机集群协同对抗模型	王尔申, 郭靖, 宏晨, 任虹帆, 陈艾东, 高新娜 (10)
锂离子电池热失控气体燃烧对热失控传播影响的量化方法	张青松, 刘添添, 赵子恒 (17)
基于脑电信号相位传递熵的谎言机制研究	韦思宏, 张家琦, 黎峰, 康倩若, 高军峰 (23)
锂离子动力电池系统多尺度热安全研究	张艳岗, 郭旭旭, 薛文阳, 张志文, 梁君飞, 王华 (31)
基于改进关键帧选择的 ORB-SLAM2 算法	张洪, 于源卓, 邱晓天 (45)
基于双注意力混洗的无人机航拍目标跟踪算法	金国栋, 薛远亮, 谭力宁, 许剑锐 (53)
基于点融合系统的多目标进场排序与调度	张军峰, 游录宝, 周铭, 杨春苇, 康博 (66)
基于学习行为的 MOOC 用户持续学习预测框架	陈辉, 白骏, 殷传涛, 荣文戈, 熊璋 (74)
增材制造技术在载人航天工程中的应用与展望	刘洋, 周建平, 张晓天 (83)
纳米酚醛气凝胶材料高温热物性参数辨识方法	张红军, 李海群, 康宏琳, 罗金玲 (92)
基于试飞分析的直升机动力系统边界保护控制方法	宋招纳, 赵敬超, 杨文凤 (100)
提高冲碾机跟踪规划路径精度的方法	宋二波, 姚仰平 (106)
航线联营下基于转运的飞机航线路径优化	闫妍, 马啸来 (115)
使用三天线的联合定姿和欺骗检测方法	陈佳佳, 袁洪, 徐颖, 于丰正 (128)
基于最小化新息协方差的修正 SRCKF 算法	杨永建, 甘轶, 李春辉, 邓有为, 肖冰松, 彭芳 (138)
基于 EEG 信号特征的脑力疲劳快速检测方法	张朋, 周前祥, 于洪强, 王川 (145)
小样本下基于孪生神经网络的柱塞泵故障诊断	高浩寒, 潮群, 徐孜, 陶建峰, 刘明阳, 刘成良 (155)
基于 BEMD 与 DCT 的彩色图像多重水印鲁棒算法	胡坤, 李聪, 胡建平, 王小超, 杜玲, 王红飞 (165)
低速冲击下碳/玻混杂复合材料红外辐射特征	赵志彬, 杨正伟, 李胤, 寇光杰, 陈金树, 张炜 (177)
新型聚乙烯醇/聚乙二醇水凝胶热沉性能研究	殷健宝, 邢玉明, 郝兆龙, 王仕淦, 王子贤, 侯煦 (187)
无人机自主引导跟踪与避障的近端策略优化	胡多修, 董文瀚, 解武杰 (195)
点阵夹芯结构非接触式损伤成像研究	赵倩, 冯侃 (206)
卷积线性混合模型下的复非高斯信号盲源提取	李苗苗, 吕晓德, 王宁, 刘忠胜 (212)
基于 SRCKF 的多传感器融合自适应鲁棒算法	李春辉, 马健, 杨永建, 肖冰松, 邓有为 (220)

期刊基本参数: CN 11-2625/V * 1956 * m * A4 * 228 * zh * P * ¥ 50.00 * 400 * 25 * 2023-01

(编辑 张 嵘 孙 芳 卞欢欢 王 茜 李亚泰 李艳霞 苏 磊)

基于 BEMD 与 DCT 的彩色图像多重水印鲁棒算法

胡坤^{1,6,7}, 李聪², 胡建平³, 王小超^{4*}, 杜玲⁵, 王红飞^{6,7}

(1. 中国科学院大学, 北京 100049; 2. 北京师范大学 系统科学学院, 北京 100875;

3. 东北电力大学 理学院, 吉林 132012; 4. 天津工业大学 数学科学学院, 天津 300387;

5. 天津工业大学 计算机科学与技术学院, 天津 300387; 6. 中国科学院 太空应用重点实验室, 北京 100094;

7. 中国科学院 空间应用工程与技术中心, 北京 100094)

摘 要:为解决现有彩色图像水印算法容错性低以及宿主图像与水印图像在嵌入时尺寸匹配问题, 并提高算法抵御各种攻击的鲁棒性, 本文提出一种基于经验模态分解(BEMD)和离散余弦变换(DCT)的彩色图像多重水印鲁棒算法。首先, 使用 Arnold 变换对三幅二值水印图像进行置乱来提升水印图像的安全性; 然后, 分别对彩色宿主图像的 RGB 三个通道进行 BEMD, 得到各通道的内蕴模态函数(IMF)和余量信息。选择各通道的第一个 IMF (记作 IMF1) 作为水印嵌入层, 对每个通道的 IMF1 分割成不重叠子块后进行 DCT; 最后, 将置乱后的二值水印图像依次重复嵌入在各通道子块经过 Zigzag 扫描后的中频系数中, 使用逆 Zigzag 扫描和逆 DCT 得到各通道嵌入水印信息后的 IMF1, 并与每个通道其余的内蕴模态函数及余量重建得到嵌入水印后的彩色图像。水印提取为嵌入过程的逆过程, 算法可以实现彩色图像嵌入水印的盲提取。在水印提取过程中对重复嵌入提取到的水印图像使用投票策略, 增强了算法的容错性。大量实验结果表明, 通过对多组宿主图像嵌入多重水印, 得到嵌入水印后的图像峰值信噪比均在 34dB 以上, 水印信息具有较高的不可见性; 对嵌入多重水印后的宿主图像进行大尺寸剪切、椒盐噪声、高斯噪声、直方图均衡、图像锐化、JPEG 压缩、散斑噪声、图像缩放等攻击实验, 提取到的水印图像与原始图像的归一化系数均在 0.96 以上, 且可达到 1, 水印信息提取完整清晰可辨。与现有大量彩色图像水印算法相比, 本文提出的彩色图像水印算法具有较强的抵御各种攻击的能力, 同时嵌入水印后图像具有较高的不可见性。

关 键 词: 二维经验模态分解; 多重数字水印; 离散余弦变换; 伪随机序列; 彩色图像

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1001-5965 (2021) XX-XXXX-XX

近年来, 随着计算机网络技术的快速发展, 数字媒体产品, 如图像、视频、音频和文本等的访问、分享和传播变得越来越迅速。然而, 对数字媒体的非法篡改、复制、盗用和恶意传播的事件也层出不穷。如何保护数字媒体产品的版权成为人们关注的焦点。数字水印作为一种通用技术, 在算法上具有良好的不可感知性和鲁棒性, 被广泛应用于多媒体版权保护、篡改定位和信息完整性认证等领域^[1-3]。

在彩色图像水印方面, 现有彩色图像水印算法通常将宿主图像变换到相应的频域空间, 将水印信息对应嵌入在图像频域中, 然后通过相应的

逆变换得到嵌入水印后的彩色图像。文献[4]提出了基于离散小波变换(discrete Wavelet transform, DWT)和奇异值分解的动态彩色图像水印算法, 通过对随机生成序列块的奇异值进行修改, 达到嵌入水印的目的。该算法仅在 YCbCr 色彩空间的 Y 分量中嵌入了一个水印图像, 导致算法对椒盐噪声和高斯噪声的攻击较为敏感。文献[5]对彩色图像进行离散余弦变换(discrete Cosine transform, DCT)和 DWT, 将水印图像降维后均匀分块嵌入宿主图像的 DWT 子带中。该算法分块的水印信息被置于人为构造的零矩阵左上角进行嵌入, 没有解决宿主图像和水印图像尺寸匹配的问题。

收稿日期: 2021-04-22; 录用日期: 2021-**-**-**; 网络出版时间: 网络出版地址:

基金项目: 天津市高等学校基本科研业务费(2018KJ222); 北京航空航天大学虚拟现实技术与系统国家重点实验室开放基金(BUAA-VR-16KF-23, BUAA-VR-17KF-04); *通讯作者: E-mail: wangxiaochao18@163.com

浙江大学学报 (理学版)

- 中文综合性科学技术类核心期刊(北大图书馆)
- 中国科技核心期刊 (CSCD 核心期刊)
- 第二届中国高校精品科技期刊
- 第三、四、五届中国高校优秀科技期刊
- 2016 年度中国高校优秀科技期刊
- 2018, 2020年度中国高校百佳科技期刊



ISSN 1008-9497
CODEN ZDXKF6

JOURNAL OF
ZHEJIANG UNIVERSITY
SCIENCE EDITION

浙江大学学报

理 学 版

第四十八卷第三期

二〇二一年五月

ISSN 1008-9497



3/2021

Vol.48, No.3 May 2021

中国·杭州

HANGZHOU, CHINA

目 次



• 图像处理算法 •

- 基于快速神经网络架构搜索的鲁棒图像水印网络算法 王小超, 张雷, 余元强, 胡坤, 胡建平 (261)
- 基于先验知识的单幅图像雨雾去除方法 梁楚萍, 冯一箴, 谢浩然, 魏明强, 燕雪峰 (270)
- 基于图像深度预测的景深视频分类算法 钱立辉, 王斌, 郑云飞, 章佳杰, 李马丁, 于冰 (282)

• 数学与计算机科学 •

- 有界 Heyting 代数的扩张模糊 LI-理想 刘春辉 (289)
- 多孔介质中的 Darcy 方程组解的结构稳定性 石金诚, 李远飞 (298)
- 广义毕达哥拉斯犹豫模糊集混合加权距离测度及决策应用 常娟, 杜迎雪, 刘卫锋 (304)
- 考虑服务技能约束的家政服务双边稳定匹配方法 孔德财, 刘长平, 崔杰 (314)
- 基于联合神经网络学习的中文电力计量命名实体识别 肖勇, 郑楷洪, 王鑫, 钱斌, 孙凌云 (321)
- 基于 Memetic 算法的仿真用例集约简技术 杨祎巍, 匡晓云, 黄开天, 洪超, 郑昌立, 蒋小文 (331)

• 地球科学 •

- 钾长石热释光热年代学——一种约束岩石剥露历史的新方法 刘婷, 杨蓉 (338)
- 基于改进兴趣度度量与 Apriori 算法的交通事故多发点成因分析 王颖志, 沈雅婕, 王立君 (349)
- 浙江省新型冠状病毒肺炎 (COVID-19) 疫情时空演化与影响因素分析
..... 徐婷婷, 李钢, 高兴, 王皎贝, 王钰, 张千禧 (356)

• 旅游学 •

- 山岳型景区景观审美语义模型研究——以太白山为例 钟鸣, 赵振斌, 张春晖, 李小永 (368)
- 2008 年—2018 年我国大陆地区入境旅游的危机周期及市场归因 卢璐, 孙根年 (377)



基于快速神经网络架构搜索的鲁棒图像水印网络算法

王小超¹, 张雷¹, 余元强², 胡坤³, 胡建平^{4*}

(1. 天津工业大学 数学科学学院, 天津 300387; 2. 天津大学 智能与计算学部, 天津 300350; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 东北电力大学 理学院, 吉林 吉林 132012)

摘要:为解决深度学习在图像水印算法中计算量大且模型冗余的问题,提高图像水印算法在抵抗噪声、旋转和剪裁等攻击时的鲁棒性,提出基于快速神经网络架构搜索(neural architecture search, NAS)的鲁棒图像水印网络算法。通过多项式分布学习快速神经网络架构搜索算法,在预设的搜索空间中搜索最优网络结构,进行图像水印的高效嵌入与鲁棒提取。首先,将子网络中线性连接的全卷积层设置为独立的神经单元结构,并参数化表示结构单元内节点的连接,预先设定结构单元内每个神经元操作的搜索空间;其次,在完成一个批次的数据集训练后,依据神经网络操作中的被采样次数和平均损失函数值动态更新概率;最后,重新训练搜索完成的网络。水印网络模型的参数量较原始网络模型缩减了92%以上,大大缩短了模型训练时间。由于搜索得到的网络结构更为紧凑,本文算法具有较高的时间性能和较好的实验效果,在隐藏图像时,对空域信息的依赖比原始网络更少。对改进前后的2个网络进行了大量鲁棒性实验,对比发现,本文算法在CIFAR-10数据集上对抵抗椒盐噪声和旋转、移除像素行(列)等攻击优势显著;在ImageNet数据集上对抵抗椒盐噪声、旋转、中值滤波、高斯滤波、JPEG压缩、剪裁等攻击优势显著,特别是对随机移除行(列)和椒盐噪声有较强的鲁棒性。

关键词: 图像水印; 多项式分布学习; 神经网络架构搜索(NAS)

中图分类号: TP 391

文献标志码: A

文章编号: 1008-9497(2021)03-261-09

WANG Xiaochao¹, ZHANG Lei¹, YU Yuanqiang², HU Kun³, HU Jianping⁴ (1. School of Mathematical Science, Tianjin University, Tianjin 300387, China; 2. College of Intelligence and Computing, Tianjin University, Tianjin 300350, China; 3. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China; 4. School of Science, Northeast Electric Power University, Jilin 132012, Jilin Province, China)

Robust image watermarking network algorithm based on effective neural architecture search. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2021, 48(3):261-269

Abstract: In order to solve the problem of large computation and model redundancy when applying deep learning to image watermarking, and to improve the robustness of image watermarking algorithm against noise, rotation, and cropping attacks, this paper adopts the robust image neural architecture search (NAS). Multinomial distribution learning for effective the neural architecture search watermarking network algorithm based on algorithm to find the optimal network structure in the preset search space, and performs efficient embedding and robust extraction of image watermarks. Firstly, the linearly connected fully convolutional layers in the sub-network are changed to independent neural unit structure, then we parameterize the connection of nodes in the structural unit, and set the search space for each neuron operation in the structural unit. Secondly, after completing a batch of data set training each time, the probabilities of being selected for the next operation are dynamically updated according to the number of samples and the average loss function value. Finally, the network structure after the search is retrained, which reduces the model parameters by more than 92% comparing with original model as well as the model training time. Since the obtained network structure is more compact, the proposed algorithm can achieve higher performance and better experimental results. Compared to the original network, the newly-developed network relies less on spatial information when hiding images. A larger number of experiments are performed to illustrate the advantages of the proposed algorithm including

收稿日期: 2020-09-11.

基金项目: 天津市高等学校基本科研业务费项目(2018KJ222).

作者简介: 王小超(1987—), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7852-2106>, 男, 博士, 副教授, 主要从事计算机图形学、图像处理等研究。

*通信作者, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8675-4564>, E-mail: neduhjp307@163.com.

网络安全技术与应用

NETWORK SECURITY TECHNOLOGY & APPLICATION 2023年第1期 (总第265期)

网路 Network Security Technology & Application 安全

中华人民共和国教育部 主管
北京大学出版社 主办

2023.1

网络安全
技术与应用

ISSN 1009-6833



9 771009 683051

邮发代号2-741 国外发行代号1597M

国内统一刊号: CN11-4522/TP
国际标准刊号: ISSN1009-6833
邮发代号: 2-741
定价: 30元



网络安全技术与应用

2023 年第 1 期（总第 265 期）

目 录

2023.1

网络安全技术与应用

2023 年第 1 期（总第 265 期）

主 管	中华人民共和国教育部
主 办	北京大学出版社
社 长	马建钧
主 编	黄庆生
责任编辑	李明
印 刷	北京金康利印刷有限公司
通信地址	北京市海淀区成府路 205 号 北京大学出版社 《网络安全技术与应用》杂志社
邮政编码	100871
电 话	010-62765013
电子邮箱	wlaq_zzs@163.com
网 址	www.wlaq-qikan.com
开 户 行	北京银行双榆树支行
账 户	《网络安全技术与应用》 杂志社有限公司
账 号	01090321000120109598830
国际标准刊号	ISSN1009-6833
国内统一刊号	CN11-4522/TP
邮发代号	2-741
发 行	北京市邮局
订 阅	全国各地邮局
网络订阅	www.cnki.net（中国知网）
国外邮发代号	1597M
国外发行	中国国际图书贸易总公司
广告许可证	京海工商广字第 8200 号
定 价	30 元

版权声明

本刊作者文责自负。对于侵犯他人版权或其他权利的文章，本刊概不承担任何连带责任。

本刊发表的文章已通过录用通知版权说明、录用电子邮件版权说明、纸刊版权页版权说明等方式告知了作者，在所有署名作者没有异议的情况下视同许可本刊进行全文、全媒体、全渠道传播的授权（包括但不限于纸质及数字化）。凡由本刊发表的文章未经本刊许可，任何人或机构不得以任何方式进行转载。

本刊已许可中国知网、万方数据库等以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播全文。

所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明，如有异议，请在投稿时说明，本刊将做适当处理。

操作系统、网络体系与服务器技术

攻击侧视角下的防御体系建设研究.....	王强 1
多网融合环境下的网络安全探索与实践.....	李军 金丽娜 2
基于深度学习的网络入侵检测系统.....	傅周超 刘建华 4
计算机网络安全入侵检测技术的研究.....	郭凯 7
基于线上购物的 Linux 系统安全配置.....	薛苏玲 岳鸿波 郑子恬 包致婷 9
基于 AI 的工业互联网网络安全态势平台设计.....	符睿 11
电子政务外网安全威胁分析及安全防护.....	张建兰 13
加密 DNS 协议现状及发展趋势分析.....	潘泉波 秦志鹏 15
保护企业资源计划系统（ERP）免受网络攻击的七步骤.....	沈欢 16
基于 WAF 的高校信息系统 HTTPS 加密传输部署.....	王乐 18

加解密技术

C-HKM：组合分层密钥管理方案.....	石典佑 21
计算机网络通信中数据加密技术方法.....	宋静怡 23

安全模型、算法与编程

基于多头注意力的恶意加密流量检测方法.....	杨坤 唐鼎 王利明 26
基于隐式随机梯度下降的恶意代码分类算法.....	张青 曹金璇 芦天亮 27
针对二值图像识别功能的对抗攻击工具箱.....	闵格格 毛力 王可 吴萌 安政柄 32
基于区块链的数据访问控制模型.....	刘志林 唐鼎 王利明 35
特定环境下浏览器指纹的追踪防护 APP.....	梁耀 吕之越 37
基于感兴趣区域划分的医学图像快速水印算法.....	郑清璞 王可俏 张润卿 曹赫 哈冉 吴雄华 41
图像自动标注及其在图像检索上的应用研究.....	彭棉珠 44
面向个人信息的公示页面发现与去标识化合规性校验技术研究.....	于佳华 刘琨 常远 46
基于区块链的资源共享平台.....	华开峰 朱宗旭 胡春阳 47
基于 BiLSTM-Attention 的微博热搜情绪指数分析.....	许泽强 49
基于 Python 的预防青少年沉迷游戏系统设计.....	孙林 杨林 侯俊科 51
“全链路”概念背景下基于 O2O 创作的校园服务平台交互设计研究.....	姜博为 夏天野 马浩瑞 具珉秀 林嘉怡 52
基于 APP 恶意程序检测——反欺诈功能设计.....	鲁凯 闫凯 李凯 54

数据安全与云计算

基于大数据的网络安全态势感知技术研究.....	文任远 57
计算机软件在大数据分析中的应用.....	苏洋 59
零信任下的数据防护研究.....	李振魁 60
基于零信任的云环境数据存储加密模型研究.....	孟慧石 刘军 62
计算机安全存储中云计算技术的应用与研究.....	顾润龙 68
基于私有云环境的虚拟化数据安全加密技术.....	李颖 李小娟 吴亚非 70

基于感兴趣区域划分的医学图像快速水印算法

◆郑清璞 王可俏 张润卿 曹赫 哈冉 吴雄华*

(天津工业大学 天津 300382)

摘要: 为了提高医学版权保护中的水印嵌入算法效率, 本文提出了一种基于感兴趣区域划分和一维经验模态分解(EMD)的医学图像快速水印算法。首先, 利用 Arnold 变换和 Hilbert 曲线降维将水印图像转变为一维信号, 同时提高了算法的安全性。其次, 确定出宿主图像的感兴趣区域(ROI)与非感兴趣区域(RONI), 选择在纹理丰富的 ROI 区域嵌入水印。再次, 对 ROI 区域进行 Hilbert 曲线降维和 EMD 分解, 得到不同尺度下的本征模态函数(IMF)和残差函数(res)。最后, 选择在 IMF1 的最值点循环嵌入水印。大量实验结果表明该算法具有较好的鲁棒性和不可感知性, 同时提高了医学图像版权保护的水印算法效率。

关键词: 感兴趣区域划分; 快速水印算法; 经验模态分解; Hilbert 曲线

基金项目: 天津工业大学市级大学生创新创业训练计划项目(202110058086, 201710058100); 纺织之光中国纺织工业联合会高等教育教学改革项目(2021BKJGLX681)

近年来, 数字水印技术在医学图像的版权保护、完整性认证、隐私保护方面得到广泛的应用。但随着图像采集设备的普及和数字媒体通信技术的飞速发展, 需要对海量的医学图像快速嵌入水印。这对水印算法提出了更高的要求。针对这一问题, 大量的快速水印算法被提出, 并在保护版权和防止隐私泄露方面发挥了重要作用[1][2];

在基于感兴趣区域(ROI)划分的医学图像水印算法中, 董莉[3]等人提出了一种基于感兴趣区域划分和小波变换的水印算法。该算法把水印置乱后嵌入到宿主小波域的非感兴趣区域; 沈炎斌[4]基于尺度不变特征变换(SIFT)提出了一种零水印算法, 该算法能够自动识别 ROI 区域, 具有很好的鲁棒性; 陈清等人[5]提出了一种依据特征值自动还原感兴趣区域的双水印嵌入算法, 将水印嵌入到 ROI 区域经过轮廓波分解后的低通子带的最大奇异值中, 保证了水印具有良好的不可感知性和抗攻击性。虽然上述医学水印嵌入算法在鲁棒性、高效性和 ROI 区域划分上具有良好的效果, 但其算法效率却很少受到关注。胡坤等人[1]提出一种降维思想, 采用希尔伯特曲线降维后再运用一维经验模态分解(EMD)实现对水印信号的嵌入。该算法实现了从二维信号到一维信号的转化, 大大提高了算法效率, 并且具有很好的鲁棒性和不可感知性, 但此算法只针对自然图像, 并不能很好地处理医学图像。

为了实现医学图像快速版权保护, 本文提出一种基于感兴趣区域划分的医学图像快速水印算法。该算法首先选定宿主图像的 ROI 区域, 对该区域进行 Hilbert 曲线降维和 EMD 分解, 得到有限个 IMF1 和残差函数。其次, 对水印进行 Arnold 变换加密处理后运用 Hilbert 曲线进行降维, 最后把一维水印信号循环嵌入到 IMF1 的最值点处。该算法不仅解决了 EMD 在医学图像中存在恒值区域的分解问题, 也进一步提升了算法效率, 并具有很好的鲁棒性和不可感知性。

1 相关原理介绍

1.1 经验模态分解(EMD)

EMD 是一种用于非平稳非线性信号处理的自适应空时分析方法, 最早由 Huang[7]等人提出, 广泛应用于语音处理、图像融合和三维数字几何处理[8]等领域。EMD 基于信号序列时间尺度的局部特征, 使复杂信号分解为有限个本征模态函数(IMF)和残差函数(res), 分解出来的各 IMF 分量包含了原信号的不同时间尺度的局部特征信号。EMD 算法主要包括局部极值点提取、包络计算和筛选停止准则三个主要步骤。

(1) 对于给定的信号 $f(t)$, 首先确定局部极值点。

(2) 用三次样条插值函数求得顶包络线 $u(t)$ 和底包络线 $l(t)$, 并计算出上下包络线的平均包络线 $m_1(t)$ 和原信号函数与平均包络线之间的差值 $h_1(t)$ 。

(3) 如果此时平均包络线接近于零, 则得到有限个 IMF(t) 和残差函数 $res(t)$; 否则将 $h_1(t)$ 代替 $f(t)$ 重复上述步骤。

EMD 可以将信号分解为不同 IMF 和残差函数之和, 不同的 IMF 所包含的信息频率不同[9]。根据人类视觉系统原理, 本文选择将水印图像转化的二值信号循环嵌入到高频函数 IMF _{i} 中的最值点中, 此时图像鲁棒性和不可见性的综合情况较好。

1.2 Hilbert 曲线

Hilbert 曲线[10]是一条可以填满整个平面的曲线, 它可以将高维空间中没有一个良好顺序的数据映射到一维空间, 并且最大程度地保留原始数据的整体结构和局部空间特征。图像信息表现为信号通常是二维的, 如果能对数字信号进行扫描, 将其转变为一维离散信号, 则可以大大提高水印算法的运算效率。本文利用其对图像信号进行降维, 具体步骤如下:

(1) 依据自相似原理和迭代生成原理, 生成与 ROI 区域和水印图像相同大小的 Hilbert 曲线。

(2) 按照 Hilbert 曲线的路径, 遍历 ROI 区域和水印图像的所有像素点, 实现降维处理。

2 本文算法

2.1 感兴趣区域的划分

和自然图像相比医学图像对图像质量要求更高并且有明显的感兴趣区域(ROI)与非感兴趣区域(RONI)之分, 患者的绝大部分信息都集中在 ROI 区域, 因此对于 ROI 区域的图像保护尤为重要。医学中对于 ROI 区域的划分有多种选择, 如 Harris 角点法[5]、定义阈值、定义种子或轮廓检测[6]等。考虑到以往自动 ROI 区域算法的复杂度和选择的局限性, 本文选择用矩形框选 ROI 区域。

为降低算法复杂度, 提高算法效率, 本文选择划分的 ROI 区域处于医学图像的中心部位, 尺寸为整张图像的 1/4。此划分方式不仅保留了医学图像中的大部分信息, 并且此部分区域纹理丰富, 易于 EMD 的分解, 见图 1。

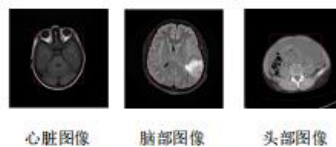


图1 感兴趣区域(ROI)

2.2 算法流程简介

本文选择 512×512 的心脏图像为宿主图像, 32×32 的礼物图像为水印图像, 介绍本文的算法流程, 见图 2。首先, 对于宿主图像划

2022

第 4 期

Vol. 43 No. 4

第43卷 第4期

ISSN 2095-302X
CN 10-1034/T

Journal of
Graphics

图学学报



中国图学学会会刊

《中文核心期刊要目总览》（第九版）科技类核心期刊

中国科技核心期刊（中国科技论文统计源期刊）

中国科学引文数据库（CSCD）核心期刊

中国学术期刊综合评价数据库来源期刊

日本科学技术振兴机构中国文献数据库（JSTChina）收录期刊

目 次

图像处理与计算机视觉

- 基于改进 YOLOv4 和图像处理的蔬菜田杂草检测 东 辉, 陈鑫凯, 孙 浩, 姚立纲 (559)
- 一种基于 CycleGAN 改进的低剂量 CT 图像增强网络
..... 廖仕敏, 刘仰川, 朱叶晨, 王艳玲, 高 欣 (570)
- 基于多尺度特征实现超参进化的野生菌分类研究与应用
..... 张 盾, 黄志开, 王 欢, 吴义鹏, 王 颖, 邹家豪 (580)
- 基于动态加权类别平衡损失的多类别口罩佩戴检测 陈昭俊, 储 珺, 曾伦杰 (590)
- 基于 FPFH 特征提取的散乱点云精简算法 李海鹏, 徐 丹, 付宇婷, 柳雁安, 张婷婷 (599)
- 基于计算机视觉的建筑施工期临时结构损伤识别方法 梁振宇, 华嘉皓, 陈浩龙, 邓逸川 (608)
- 基于环查询和通道注意力的点云分类与分割 刘玉珍, 李 楠, 陶志勇 (616)
- 基于随机传播图卷积模型的零样本图像分类 芦楠楠, 刘一雄, 邱铭恺 (624)
- 基于结构光相机的钢筋骨架整体点云获取算法 刘世龙, 马智亮 (633)
- 基于域自适应的云南重彩画无监督情感识别 彭国琴, 张 浩, 徐 丹 (641)
- 基于时空融合的多帧压缩视频增强方法 马彦博, 李 琳, 陈 缘, 赵 洋, 胡 锐 (651)
- 结合纹理复杂度与 BEMD 的灰度水印图像算法 赵慧超, 胡 坤, 王小超 (659)

计算机图形学与虚拟现实

- 基于 VD-MobileNet 网络的 WebAR 生活垃圾分类信息可视化方法
..... 刘南杉, 裴云强, 蒋 皓, 韩永国, 吴亚东, 王赋攀, 易思恒 (667)
- 结合残差时空注意力机制的海面温度预测算法
..... 贺 琪, 李汶龙, 宋 巍, 杜艳玲, 黄冬梅, 耿立佳 (677)
- 基于词表示模型的领域文献数据可视分析方法 张清慧, 陈 谊, 武彩霞 (685)
- 面向太极拳学习的人体姿态估计及相似度计算 蔡兴泉, 霍宇晴, 李发建, 孙海燕 (695)
- 基于虚拟光源的实时半透明材质渲染 陈主昕, 杨沁七, 陈 瑞, 张严辞, 刘艳丽, 吴志红 (707)

数字化设计与制造

- 百叶轮抛磨叶片微结构区域识别及路径拼接方法研究 刘 佳, 张晶晶, 杨胜强, 乔志杰 (715)

建筑与城市信息模型

- 基于计算机视觉与 BIM 的裂缝可视化管理方法 熊 琛, 陈立斌, 李林泽, 许 镇, 赵杨平 (721)
- 基于自适应尺度边缘特征的建筑施工图重叠字符识别方法研究 王 正, 邓雪原 (729)

工业设计

- 基于多模态感官体验的儿童音画交互设计研究 李晓英, 余亚平 (736)
- 基于眼动技术的 TMA 界面评估及优化 段艳花, 刘子建, 宁 铎 (745)

结合纹理复杂度与 BEMD 的灰度水印图像算法

赵慧超¹, 胡坤², 王小超¹

(1. 天津工业大学数学科学学院, 天津 300387;
2. 中国科学院空间应用工程与技术中心, 北京 100049)

摘 要: 本文提出并实现了一种结合纹理复杂度和二维经验模态分解(BEMD)的灰度水印图像算法。该算法首先对 Arnold 变换的水印图像进行 BEMD 分解, 得到不同尺度的内蕴模态函数及余量信息。其次, 对宿主图像分块进行纹理复杂度的计算, 选择纹理复杂度高的区域作为嵌入位置; 为了使水印图像的内蕴模态函数能与宿主图像更好地融合, 对宿主图像进行了与水印图像相同筛分条件的 BEMD 分解。最后, 将水印信息重复地嵌入到宿主图像预先选好的位置中, 再对嵌入水印信息后的内蕴模态函数及余量重建得到嵌入水印后的图像。水印提取则为水印嵌入的逆过程。通过对不同纹理程度的宿主图像进行实验, 得到嵌入水印后图像的峰值信噪比均在 40 dB 以上, 而对 8 种常见攻击时提取水印的 NC 值均在 0.95 以上。与现有算法进行对比, 该算法在大比例剪切、噪声攻击、图像滤波和 JPEG 压缩攻击上表现出色, 且结果整体优于对比算法。

关键词: 二维经验模态分解; 灰度水印图像; 纹理复杂度; 版权保护; Arnold 变换

中图分类号: TP 391

DOI: 10.11996/JGJ.2095-302X.2022040659

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2022)04-0659-08

Grayscale watermarking algorithm via BEMD and texture complexity

ZHAO Hui-chao¹, HU Kun², WANG Xiao-chao¹

(1. School of Mathematical Sciences, Tiangong University, Tianjin 300387, China;

2. Technology and Engineering Center for Space Utilization, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: This paper presented a grayscale watermarking algorithm combining texture complexity and bi-dimensional empirical mode decomposition (BEMD). Firstly, the watermark image after Arnold transform was decomposed by BEMD to obtain the intrinsic modal function (IMF) and the residual information of different scales. Then, the texture complexity of the host image after segmentation was calculated, and the region of high texture complexity was selected as the embedding location. In order to better fuse the IMF of the watermark image with the host image, BEMD decomposition was performed on the host image under the same sieving conditions as those for the watermark image. Finally, the watermark information was repeatedly embedded into the pre-selected location of the host image, and then the image embedded with watermarks was reconstructed by the IMF and the residual. Watermark extraction was the inverse process of watermark embedding. The experiments on host images at different texture levels revealed that the peak signal-to-noise ratios of images embedded with watermarks were all above 40 dB, and the normalized coefficients values of watermark extraction all exceeded 0.95 in the face of eight common attacks. Compared with the

收稿日期: 2021-10-14; 定稿日期: 2022-04-15

Received: 14 October, 2021; Finalized: 15 April, 2022

基金项目: 天津市高等学校基本科研业务费项目(2018KJ222); 浙江大学CAD&CG国家重点实验室开放课题(A2105)

Foundation items: The Science & Technology Development Fund of Tianjin Education Commission for Higher Education (2018KJ222); Open Project Program of the State Key Lab of CAD&CG, Zhejiang University (A2105)

第一作者: 赵慧超(1997-), 女, 硕士研究生。主要研究方向为数字图像处理。E-mail: zhaohuichao1111@163.com

First author: ZHAO Hui-chao (1997-), master student. Her main research interest covers digital image processing. E-mail: zhaohuichao1111@163.com

通信作者: 王小超(1987-), 男, 副教授, 博士。主要研究方向为图形图像处理、计算几何等。E-mail: wangxiaochao18@163.com

Corresponding author: WANG Xiao-chao (1987-), associate professor, Ph.D. His main research interests cover graphic image processing, computation geometry, etc. E-mail: wangxiaochao18@163.com