

一种基于 DFT 的 DEM 自适应数字水印算法

王志伟¹⁾ 朱长青²⁾ 殷硕文¹⁾ 安敏¹⁾

¹⁾(信息工程大学测绘学院, 郑州 450052) ²⁾(南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210097)

摘要 通过对 DEM 数据进行分块傅里叶变换和频谱分析, 结合人类视觉系统和 DEM 数据特征, 自适应地确定水印嵌入位置, 将水印信息以加性法则嵌入到傅里叶低频系数的幅值上, 然后对 DEM 数据进行分块傅里叶逆变换, 得到含水印信息的 DEM 数据。实验结果表明, 该算法不仅具有很好的透明性, 而且对 DEM 数据的精度影响较小, 能够满足一定的应用要求, 具有良好的抗噪能力。

关键词 数字高程模型 数字水印 离散傅里叶变换 坡度 精度 自适应

中图法分类号: TP301.6 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)05-796-06

An Adaptive Watermarking Algorithm for DEM Based on DFT

WANG Zhiwei¹⁾, ZHU Changqing²⁾, YIN Shuowen¹⁾, AN Min¹⁾

¹⁾(Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou 450052)

²⁾(Key Laboratory of Virtual Geographic Environment of Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210097)

Abstract This paper introduces an adaptive watermarking algorithm for DEM. This proposed method can utilize human visual system(HVS), features of DEM data and discrete Fourier transform(DFT) to determine adaptively the location where the watermark can be hidden. And then, the watermark information is added to the lowness frequency of the texture region DFT. Experimental results show that the novel watermarking scheme for DEM has good imperceptibility, little effect on DEM accuracy and is robust to noise attack.

Keywords digital elevation model, digital watermark, discrete Fourier transform, slope, accuracy, adaptive

0 引言

数字高程模型(DEM)是地理信息系统地理数据库中最为重要的空间信息资料和赖以进行地形分析的核心数据,是地球空间框架数据的基本内容。在数字网络技术高速发展的时代,如何在充分利用数字技术的同时,保障 DEM 数字产品所有者的版权与经济利益,已成为一个亟待解决的现实问题^[1-5]。

数字水印技术弥补了密码技术与数字签名技术在版权保护方面的缺陷,是目前最好的解决方案。

它将产品标识信息隐秘地嵌入在被保护的数字产品中,实现数字产品的版权认证和使用跟踪。这些标识信息通常是不可见的,但不影响原数字产品的价值和使用,很难被盗版者清除^[6]。

目前,在声音、视频和图像^[7-12]等多媒体信息领域,数字水印技术应用较为广泛。地理空间数据作为一种新兴的数字产品,由于其特殊的使用价值和应用领域,其版权保护的研究已经扩展到了4D数字产品领域(数字正射影像图(DOM)、数字高程模型(DEM)、数字线划地图(DLG)、数字栅格地图(DRG)),并取得了一些研究成果。对 DEM 数据而言,主要有:刘爱利等人通过将 DEM 数字水印与图

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)项目(2006AA12Z223)

收稿日期:2010-01-14;改回日期:2010-01-25

第一作者简介:王志伟(1982—),男。信息工程大学测绘学院博士研究生。研究方向为数字高程模型、数字水印、GIS等。E-mail: zhiweiwang1982@163.com

通讯作者简介:朱长青。E-mail: zcq88@263.net

像数字水印对比分析,指出以图像视觉质量为优劣标准的数字水印算法并不能满足DEM的精度和应用要求^[1];罗永等人根据人类视觉系统,基于整数小波变换,实现了一种水印嵌入强度自适应的水印算法^[2];何密、刘水强等人基于DEM广义直方图提出了DEM数据伪装技术,可实现DEM数据的无损恢复^[3-5]。这些研究推动和发展了DEM数据的版权保护。值得注意的是,上述研究很少针对DEM的数据特征进行研究,与普通数字图像相比,DEM数据具有特殊的应用价值和使用领域,DEM数字水印除了具有普通图像数字水印的一般功能外,还应满足一些特殊的应用要求,如在水土保持、农业土地利用等方面。

本文在上述研究的基础上,结合人类视觉模型(HVS)和DEM数据特征,利用离散傅里叶变换对DEM数据的版权保护进行研究,提出一种自适应选取嵌入位置的水印算法。

1 DEM数据分析

DEM数据是通过有限的地形高程数据实现对地形曲面的数字化模拟或者说地形表面形态的数字化表示。而自然数字图像反映的是客观实体反射、透射光辐射或自身辐射发出的光能量信息。因此,DEM与自然数字图像有着本质的区别,主要体现在:

- 1) 传递信息内容不同 DEM反映的是自然地形地貌,自然数字图像反映的是光能量信息;
- 2) 空间定位不同 DEM有明确的空间定位信息,自然数字图像则没有;
- 3) 质量要求不同 DEM不仅用于地形的可视化表达,同时也是地学相关领域进行各种地形特征量化分析的数据基础,它不仅要满足人眼的视觉质量要求,还要满足一定的数据精度要求,不能损害基于DEM的地形分析成果的质量,因此,DEM具有更高的质量要求。

对DEM数据而言,地性线是DEM的重要特征位置,集中了更多的地形信息,构成了地形变化起伏的骨架^[1]。同时,地性线又是DEM数据视觉敏感的部分,对地性线位置上水印信号的攻击,不仅会使DEM视觉质量受损,而且更易于导致数据精度的降低,甚至失去应用价值。因此,以地性线为出发点,结合离散傅里叶变换对DEM版权保护进

行研究。

2 算法原理

由上文分析可知,DEM数据的地性线附近适合嵌入水印信息。此外,不同DEM数据地性线位置不尽相同,因而水印嵌入位置能自适应地改变,具有较强的鲁棒性。

2.1 水印信息嵌入区域的确定

经研究表明,人眼对平坦区域、边缘区域内数据的改变相比其他区域更为敏感,同时,坡度、坡向等地形参数对平坦区域、边缘区域内数据的改变比其他区域也更为敏感。因此,考虑到嵌入水印的不可见性要求和DEM数据的应用精度,实验中应避免在这几类区域中嵌入水印。数字水印嵌入位置的确定包含以下几步,如图1所示。

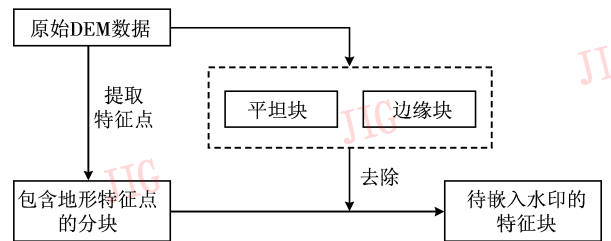


图1 水印嵌入位置的确定

Fig. 1 Determination of watermarking embedding areas

1) 地形特征点的提取

地形特征点的提取采用应用较为广泛的D8算法。该算法在 3×3 窗口上,利用最陡坡度法来确定DEM表面的地形特征点,能够较好地筛选出DEM的地貌特征点,且简单易行,运算速快。

2) 平坦块和边缘块的提取

平坦块的提取是将原始DEM的坡度矩阵划分为互不重叠的 $N \times N$ 块,小于设定阈值的分块被认为是平地,不嵌入水印。

边缘块的提取是将原始DEM的高程矩阵划分为互不重叠的 $N \times N$ 块,统计每一分块内栅格点高程的方差,方差大于某一阈值的分块被认为是边缘地区,不嵌入水印。

3) 水印信息嵌入区域的确定

从包含地形特征点的分块中去掉平坦块和边缘块,即可获得待嵌入水印的特征块。

2.2 水印信息的嵌入

基于以上分析,基于DFT的DEM数字水印算

法流程图如图 2 所示。

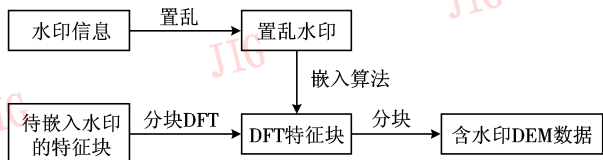


图 2 水印信息嵌入流程图

Fig. 2 Flow chart of embedding watermarking

1) 水印信息的生成 这里嵌入水印信息为有意义水印信息,如图 3 所示的一幅 120×32 的二值图像。



图 3 水印信息

Fig. 3 The watermarking image

对水印信息进行扫描,白色像素值记为 1,黑色记为 -1,将 2 维矩阵转换成 1 维二值序列 $\mathbf{W} = \{w_i\} (i=1,2,\dots,k)$,其中 $w_i = \pm 1$;然后,通过密钥 key ,对水印序列 \mathbf{W} 进行置乱,得到待嵌入水印信息 $\mathbf{W}' = \{w'_i\} (i=1,2,\dots,k)$;

2) 嵌入位置的确定 将 DEM 数据 I 分成 $N \times N$ 互不重叠的数据块,按照上文方法提取待嵌入水印信息的特征数据块;

3) 分块傅里叶变换 将提取出的 $N \times N$ 待嵌

入水印信息的特征数据块分别进行离散傅里叶变换,得到频谱系数 F ,并计算相应的幅值谱 M 和相位谱 φ ;

4) 水印信息的嵌入 将置乱后的水印信息 \mathbf{W}' 嵌入纹理区傅里叶低频系数的幅度中,得到携带水印信息的傅里叶幅值谱 M' ,嵌入规则为 $M' = \{m_i + \alpha \cdot w'_i\} (i=1,2,\dots,k)$;

5) 含水印栅格地图的生成 将各个数据块中嵌入水印信息的幅值谱 M' 和原始相位谱 φ 组成新的离散傅里叶频谱系数 F' ,再对 F' 进行分块逆傅里叶变换即可得到含水印信息的 DEM 数据 I' 。

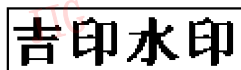
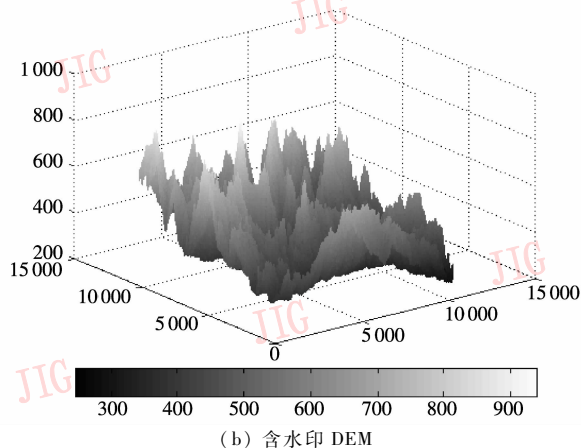
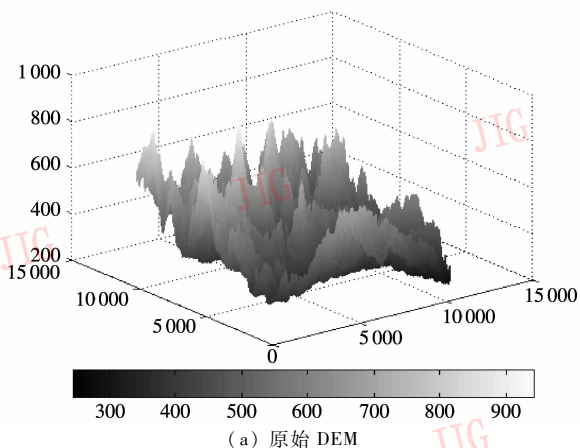
2.3 水印信息的提取

水印信息的提取过程可以看做是其嵌入过程的逆过程,即对待检测 DEM 进行 $N \times N$ 分块,选择含有水印信息的特征数据块(即包含地形特征点,并除去平坦块和边缘块),然后对特征数据块进行分块傅立叶变换,在持有密钥和原始 DEM 的情况下即可提取水印信息。实验结果如图 4 所示(其中试验 DEM 数据大小为 512×512 、分辨率为 20m,高程精度为 1m,分块大小为 2×2 分块,水印嵌入强度为 5.0)。

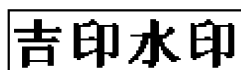
为客观评价提取的水印与原始水印信息的相似程度,采用以下相似度计算公式:

$$NC = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L b_i (i=1,2,\dots,L) \quad (1)$$

式中, $b_i = w_i \times w_i^*$, w_i 和 w_i^* 分别表示原始水印信息和提取的水印信息, L 为水印长度。



(c) 原始水印



(d) 提取出的水印

图 4 实验结果

Fig. 4 The test result

3 实验结果分析

3.1 含水印 DEM 数据的精度分析

为比较含水印 DEM 与原始 DEM 之间的误差,

分别对两者的数据精度和应用精度(坡度、等高线)进行了统计比较,如表 1 和表 2 所示。图 5 和图 6 分别表示水印嵌入前后 DEM 高程、坡度及其误差的分布图,图 7 显示了水印嵌入前后提取等高线的比较。

表 1 嵌入水印前后 DEM 数据的基本信息

Tab.1 The basic information of the original DEM and the watermarked DEM

	高程最小值/m	高程最大值/m	平均高程/m	坡度最小值/(°)	坡度最大值/(°)	平均坡度/(°)
原始 DEM	240	943	473	0.0	68.62	28.67
含水印 DEM	240	945	473	0.0	68.62	28.69

注:DEM 数据的高程精度为 1m。

表 2 含水印 DEM 高程误差和坡度误差统计结果

Tab.2 The statistical results of elevation error and slope error of watermarked DEM

误差	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	≥5	最大值	中误差
高程误差	84.55%	10.08%	5.37%	0%	0%	0%	2.0 m	0.786
坡度误差	79.47%	10.31%	6.25%	2.36%	1.07%	0.54%	7.829°	1.142

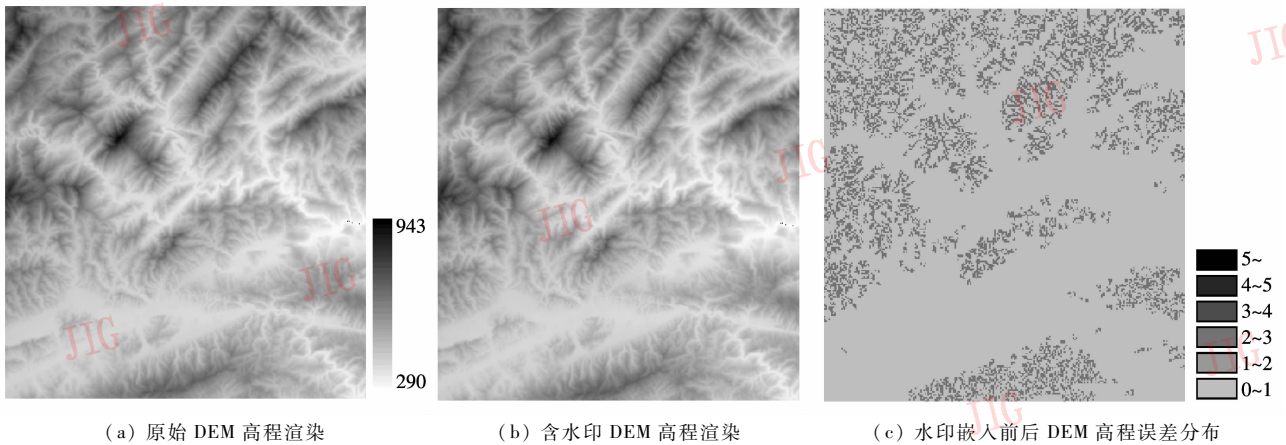


图 5 原始 DEM 与含水印 DEM 高程及高程误差分布图

Fig.5 The comparison of elevation of original and watermarked DEM

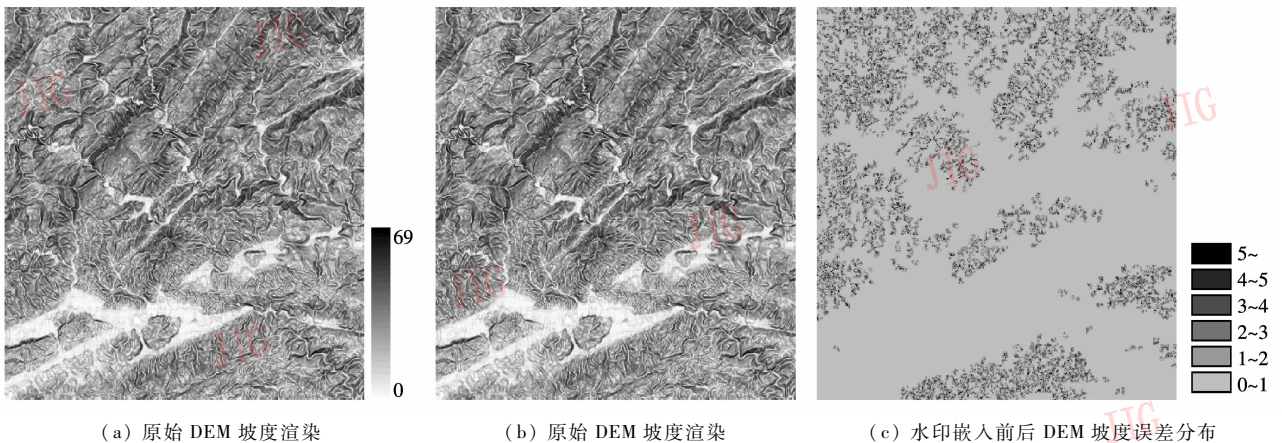


图 6 原始 DEM 与含水印 DEM 坡度及坡度误差分布图

Fig.6 The comparison of slope of original and watermarked DEM

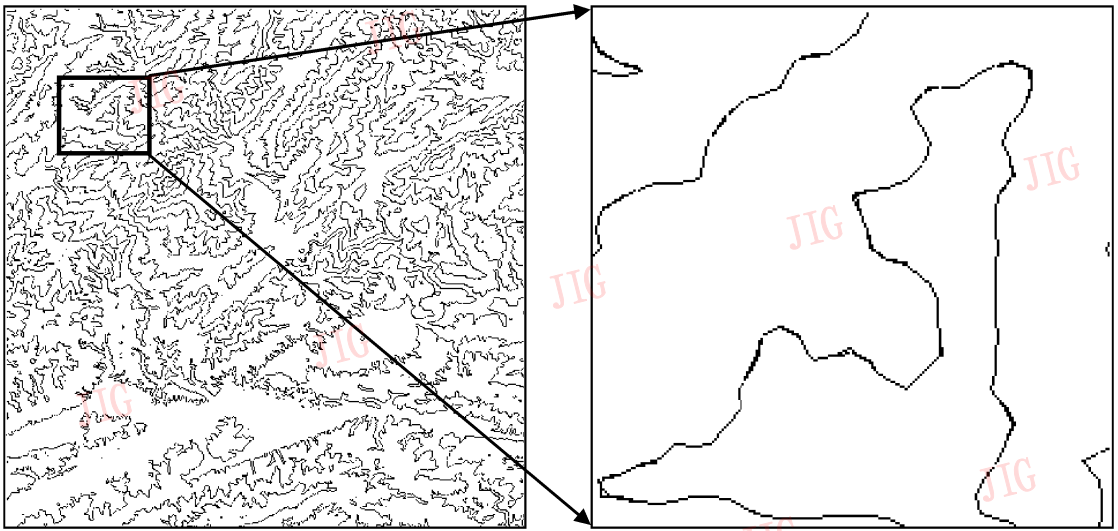


图 7 原始 DEM 与含水印 DEM 提取等高线(深色线)结果对比

Fig. 7 The comparison of contours of original and watermarked DEM

表 1 显示,水印嵌入后 DEM 数据的基本信息变化不大;表 2 反映了水印添加后 DEM 数据的高程和坡度误差在各个误差区间的统计情况,且两者误差均集中在 3 个误差单位内,表明该算法在控制数据精度方面具有较为明显的优势,图 5(c)和图 6(c)分别显示了高程误差和坡度误差的分布情况。

图 7 显示了水印嵌入前后提取等高线的变化,可以看出,原始 DEM 提取的等高线与含水印 DEM 提取




的等高线吻合程度很高,可以满足实际应用的要求。

3.2 鲁棒性评估

检验水印对噪声的鲁棒性。通过向 DEM 数据添加一定的噪声,检测水印的抵抗能力。对全部含水印 DEM 数据添加范围 $[a, b]$ 的均匀噪声,然后提取水印,并利用式(1)计算提取水印的相关系数。表 3 显示了水印的提取结果。实验表明,该算法对噪声攻击具有较好的稳健性。

表 3 水印的提取结果

Tab. 3 The results of detecting watermarking

噪声范围	$[-3, 3]$	$[-5, 5]$	$[-8, 8]$
提取结果			
相关系数	0.937	0.904	0.869

4 结论

通过对 DEM 数据与普通数据的特点的分析,结合人类视觉特性,估计 DEM 数据特征,提出了一种嵌入位置自适应数字水印算法,实验结果表明该算法能够很好地顾及 DEM 的地形特征,保持 DEM 数据精度,有效地减小水印信息对 DEM 数据的影响,具有好的效果。进一步地,以下问题还需继续深入研究:

1) DEM 数据精度与水印强度的关系 水印强

度与 DEM 数据精度息息相关,强度越大,对 DEM 数据的影响也越大,在满足 DEM 精度的前提下,如何确定最大的水印嵌入强度,将是 DEM 数字水印研究中的一个难点。

2) DEM 盲水印算法研究 本文算法为非盲水印算法,在水印检测和提取过程中,需要原始 DEM 数据参与运算。如何实现 DEM 盲水印算法,将是一个重要的研究方向。

参考文献 (References)

[1] Liu Aili, Lv Guonian. Copyright protection of DEM by means of

- DCT-based digital watermarking [J]. *Geo-Information Science*, 2008, 10(2): 214-223. [刘爱利, 闫国年. 基于DCT域数字水印技术的DEM版权保护研究[J]. *地球信息科学*, 2008, 10(2): 214-223.]
- [2] Luo Yong, Cheng Lizhi, Chen Bo, et al. Study on digital elevation mode data watermark via integer wavelets[J]. *Journal of Software*, 2005, 16(6): 1096-1103. [罗永, 成礼智, 陈波, 等. 数字高程模型数据整数小波水印算法[J]. *软件学报*, 2005, 16(6): 1096-1103.]
- [3] He Mi, Luo Yong, Cheng Lizhi, et al. Information disguising for DEM data via EMD[J]. *Journal of Computer Applications*, 2007, 27(6): 1345-1348. [何密, 罗永, 成礼智, 等. 基于EMD的DEM数据信息伪装技术[J]. *计算机应用*, 2007, 27(6): 1345-1348.]
- [4] He Mi, Luo Yong, Cheng Lizhi. Lossless watermarking for digital elevation mode data [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2007, 43(30): 40-43. [何密, 罗永, 成礼智. 数字高程模型数据的无损数字水印[J]. *计算机工程与应用*, 2007, 43(30): 40-43.]
- [5] Liu Shuiqiang, Chen Jiye, Zhu Hongpeng. Information disguising for digital elevation model data via empirical mode decomposition[J]. *Geomatics and Informatica Science of Wuhan University*, 2008, 33(6): 652-655. [刘水强, 陈继业, 朱鸿鹏. 基于经验模式分解的数字高程模型数据伪装方法[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2008, 33(6): 652-655.]
- [6] Sun Shenghe, Lu Zheming, Niu Xiamu. Digital Watermarking Techniques and Application[M]. Beijing: Science Press, 2004. [孙圣和, 陆哲明, 牛夏牧. 数字水印技术及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004.]
- [7] Kusyk J, Eskicioglu A M. A semi-blind logo watermarking scheme for color images by comparison and modification of DFT coefficients[J]. *SPIE*, 2005, 6015: 0C01-0C15.
- [8] Ying W, Pierre M. Statistical modelling and steganalysis of DFT-based image steganography[J]. *SPIE*, 2006, 6072: 0201-0211.
- [9] Wang Xiangyang, Yang Hongying, Wu Jun. Content-based adaptive discrete cosine transform domain watermarking algorithm for remote sensing image [J]. *Acta Geodaetica Et Cartographica Sinica*, 2005, 34(4): 324-330. [王向阳, 杨红颖, 邬俊. 基于内容的离散余弦变换域自适应遥感图像数字水印算法[J]. *测绘学报*, 2005, 34(4): 324-330.]
- [10] Celik M, Sharma G, Tekalp A M, et al. Lossless watermarking for image authentication: a new framework and an image-mentaion [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, 15(4): 1042-1049.
- [11] Ganic E, Dexter S D, Eskicioglu A M. Embedding multiple watermarks in the DFT domain using low and high frequency bands[J]. *SPIE*, 2005, 5681: 175-184.
- [12] Kang X G, Huang J W, Shi Y Q, et al. A DWT-DFT composite watermarking scheme robust to both affine transform and JPEG compression[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2003, 13(8): 776-778.