DOI:10.13203/j.whugis20140363　　**文章编号**:1671-8860(2016)07-0903-08

基于坡度和坡向分析的 DCT 域 DEM 数字水印算法

刘爱利[1]　丁　浒[1,2]　田　丹[1]　王　丽[1]　王少峰[3]

1　南京信息工程大学地理与遥感学院,江苏 南京,210044
2　南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室,江苏 南京,210023
3　73608 部队,江苏 南京,210028

摘　要:提出了一种基于离散余弦变换(discrete cosine trasform, DCT)域的数字高程模型(DEM)数字水印算法,通过分析坡度坡向计算模型并结合人类视觉系统(human visual system, HVS),推导出坡度坡向精度与水印嵌入强度的数学关系,能实现在满足坡度坡向精度要求下,水印嵌入强度的最大化,增强水印的抗攻击性。实验结果表明,含水印 DEM 的高程、坡度、坡向的最大误差和中误差均较小,满足 DEM 精度的近无损及所提取等高线的近无损,且满足水印的视觉不可见性,能抵抗 JPEG 压缩和几何裁剪攻击。

关键词:DEM;数字水印;DCT;坡度;坡向

中图法分类号:P208; P231　　**文献标志码**:A

数字高程模型(DEM)是地球空间框架数据的基本内容,在国家空间数据基础设施建设以及数字地球战略的实施进程中具有重要作用。由于 DEM 数据易被存储、修改和传播,对 DEM 的侵权和篡改时有发生,故其版权保护问题需要得到重视[1]。数字水印技术通过在数据中嵌入版权信息或用户标识信息等,必要时能提取出嵌入水印的信息,能够准确而有效地确认数据版权、跟踪侵权行为,可为 DEM 数据版权保护问题提供行之有效的解决方案[2,3]。

目前,在地理信息领域中数字水印技术主要针对遥感影像、GIS 矢量数据和栅格地图数据[4-6],针对 DEM 的数字水印技术的研究相对较少[1]。近年来,对 DEM 的数字水印技术已有一些有益探索,如罗永等基于广义直方图算法提出一种无损可视 3-D 数字水印算法,该算法可使版权所有者无损恢复 DEM,且可实现水印盲检测[7]。王志伟、朱长青等分别基于 DWT(discrete wavelet transform)和 DFT(discrete Fourier transform)方法,以 DEM 坡度为主要研究对象提出了 DEM 数字水印算法,能完全满足水印的不可见性,对 DEM 数据的高程、坡度及等高线的提取精度影响都很小,且具有良好的抗噪能力[8,9]。上述研究基本实现了水印嵌入的视觉不可见性以及含水印 DEM 高程的近无损性。然而,由于水印信息的嵌入会引起 DEM 高程数据的变化,进而影响到其地学分析的结果,因此,如何从 DEM 地学应用角度出发,在水印嵌入能量最大化的同时减少水印对 DEM 派生产品的影响,对提高数字水印技术在 DEM 领域应用的实用性具有重要的意义。

基于此,本文拟以描述地形特征的坡度和坡向两个基本地形因子为指标,在同时满足 DEM 高程和坡度、坡向精度条件下,研究数字水印嵌入强度如何实现最大化的问题,这对于增强数字水印技术在 DEM 版权保护中的适用性和 DEM 地学应用中的实用性具有重要的理论和实际意义。

1　算法设计

1.1　水印空间域嵌入位置的确定

基于 Kutter 提出的第二代数字水印概念,利用数据的重要特征可以增强水印的鲁棒性[4]。对 DEM 数据而言,地性线处集中了地形的主要信息内容,是 DEM 的重要特征位置。针对地性线处水印信号的攻击不仅会使 DEM 视觉质量受损,

收稿日期:2014-11-21
项目资助:国家自然科学基金(41401471)。
第一作者:刘爱利,副教授,主要从事数字地形分析和数字水印技术研究。liuaili@nuist.edu.cn

而且会破坏DEM的数据精度，因此，在地性线处嵌入水印信息将具有较强的鲁棒性[10]。另一方面，由于人眼对平坦区域、边缘区域、弱纹理区域内的数据变化相比其他区域更为敏感，且坡度、坡向误差主要分布于地形平坦的区域，因此为顾及水印嵌入后的视觉不可见性以及含水印DEM的坡度坡向精度，算法避免了在这几类区域中嵌入水印。

平坦块的获取是首先将原始DEM数据划分为互不重叠的8像素×8像素分块，统计分块内坡度值小于2°的栅格的频率，若大于25%则视为平坦区域，不嵌入水印。统计分块内栅格点高程方差，选取合适的阈值即得到边缘块。弱纹理块采用Canny算法得到[10]。

1.2 水印频率域嵌入位置的确定

将去除平坦块、边缘块和弱纹理块之后的特征分块做离散余弦变换(discrete cosine transform, DCT)变换。由于DCT低频系数汇集了DEM大部分的信息，因此，当水印嵌入这一部分时将对原始数据产生较大损伤；当水印嵌入在DEM的高频部分时，高通滤波或有损压缩等图像操作易对水印造成破坏，从而使水印鲁棒性降低，因此应在中频寻找较为适合的位置嵌入水印。此外通过调节水印嵌入中频的首位置，即可实现含水印DEM提取等高线的近无损[10]。通过实验，水印的嵌入首位置确定为13。

1.3 基于坡度坡向误差分析的水印嵌入强度确定

水印嵌入强度与DEM精度和鲁棒性直接相关。一般而言，水印嵌入强度越大，高程误差越大，但水印鲁棒性越强；水印嵌入强度越小，则DEM误差越小，精度也越高，水印鲁棒性越弱。此外，不同地貌类型区域嵌入水印的能量不应相同，如对平原微丘区域来说，其本身高程较小，微小的高程误差将会带来较大的分析误差，故水印嵌入强度应随地貌类型的改变而自适应变化。为同时满足DEM精度以及水印鲁棒性要求，本文结合DCT域Watson人体视觉模型，推导了水印嵌入强度与坡度坡向以及不同地貌类型DEM高程的最大误差与中误差的关系，能够根据给定精度误差标准自适应确定水印嵌入强度。

坡度S、坡向A的计算公式为：

$$S = \arctan\sqrt{f_x^2 + f_y^2} \tag{1}$$

$$A = 270^\circ + \arctan\frac{f_y}{f_x} - 90^\circ \times \frac{f_x}{|f_x|} \tag{2}$$

式中，f_x和f_y分别为南北方向上高程变化率和东西方向上高程变化率。

以三阶反距离平方权差分坡度坡向计算模型为例，顾及DEM误差后可得f_x和f_y分别为：

$$f_x = \frac{(z_9 + 2z_6 + z_3) - (z_7 + 2z_4 + z_1)}{8g} + \frac{(\mathrm{d}z_9 + 2\mathrm{d}z_6 + \mathrm{d}z_3) - (\mathrm{d}z_7 + 2\mathrm{d}z_4 + \mathrm{d}z_1)}{8g} \tag{3}$$

$$f_y = \frac{(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)}{8g} + \frac{(\mathrm{d}z_7 + 2\mathrm{d}z_8 + \mathrm{d}z_9) - (\mathrm{d}z_1 + 2\mathrm{d}z_2 + \mathrm{d}z_3)}{8g} \tag{4}$$

水印的嵌入实质是向DEM引入微小的高程误差，由此产生的坡度坡向误差可由坡度坡向计算模型的微分表示，对式(1)、式(2)分别微分，有：

$$\mathrm{d}S = \frac{f_x \mathrm{d}f_x + f_y \mathrm{d}f_y}{(1 + \tan^2 S)\tan S} \tag{5}$$

$$\mathrm{d}A = \frac{f_y \mathrm{d}f_x - f_x \mathrm{d}f_y}{\tan^2 S} \tag{6}$$

这里f_x和f_y的估计值分别取式(3)、式(4)两式的第一项，f_x和f_y的估计误差即DEM数据误差$\mathrm{d}f_x$、$\mathrm{d}f_y$则分别取式(3)、式(4)两式第二项，故$\mathrm{d}f_x$、$\mathrm{d}f_y$可由式(3)和式(4)求得：

$$\mathrm{d}f_x = f_x - \frac{(z_9 + 2z_6 + z_3) - (z_7 + 2z_4 + z_1)}{8g} = \frac{(\mathrm{d}z_9 + 2\mathrm{d}z_6 + \mathrm{d}z_3) - (\mathrm{d}z_7 + 2\mathrm{d}z_4 + \mathrm{d}z_1)}{8g} \tag{7}$$

$$\mathrm{d}f_y = f_y - \frac{(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)}{8g} = \frac{(\mathrm{d}z_7 + 2\mathrm{d}z_8 + \mathrm{d}z_9) - (\mathrm{d}z_1 + 2\mathrm{d}z_2 + \mathrm{d}z_3)}{8g} \tag{8}$$

由文献[10]可知，采用加性规则下由水印嵌入所引起的DEM误差为：

$$D = |\alpha|\,|\boldsymbol{Q}^*(\mathrm{JND} \cdot w)| \tag{9}$$

式中，α为水印嵌入强度；$\boldsymbol{Q}^*$为二维离散余弦变换逆矩阵；JND为满足人类视觉模型约束的DCT系数最大改变量；w为水印信息。令$\varepsilon = |\boldsymbol{Q}^*(\mathrm{JND} \cdot w)|$，则$\mathrm{d}z = |\alpha|\varepsilon$，将其代入式(7)、式(8)可得$\mathrm{d}f_x$和$\mathrm{d}f_y$，再将其与$f_x$、$f_y$的估计值代入式(5)、式(6)中可得：

$$\mathrm{d}S = \frac{|\alpha|(X_1 + X_2)}{64g^2 \tan S(1 + \tan^2 S)} \tag{10}$$

$$\mathrm{d}A = \frac{|\alpha|(X_1 + X_2)}{64g^2 \tan^2 S} \tag{11}$$

式中，$X_1 = [(z_9 + 2z_6 + z_3) - (z_7 + 2z_4 + z_1)] \cdot$

$[(\varepsilon_9+2\varepsilon_6+\varepsilon_3)-(\varepsilon_7+2\varepsilon_4+\varepsilon_1)]$；$X_2=[(z_7+2z_8+z_9)-(z_1+2z_2+z_3)]\cdot[(\varepsilon_7+2\varepsilon_8+\varepsilon_9)-(\varepsilon_1+2\varepsilon_2+\varepsilon_3)]$。以人为给定的坡度坡向最大误差和中误差为约束条件，联立得方程组式(12)和式(13)：

$$\begin{cases} \mathrm{d}S \leqslant S_{\max E} \\ \sqrt{\dfrac{\sum_{i=0}^{n}(\mathrm{d}S)^2}{n^2}} \leqslant S_{\mathrm{RMSE}} \end{cases} \tag{12}$$

$$\begin{cases} \mathrm{d}A \leqslant A_{\max E} \\ \sqrt{\dfrac{\sum_{i=0}^{n}(\mathrm{d}A)^2}{n^2}} \leqslant A_{\mathrm{RMSE}} \end{cases} \tag{13}$$

式中，$S_{\max E}$、S_{RMSE} 和 $A_{\max E}$、A_{RMSE} 分别表示坡度最大误差、坡度中误差、坡向最大误差、坡向中误差。将式(10)、式(11)代入，联合求解后取所得 α 中最小的一个(记为 α_1)，即得出满足坡度坡向精度的水印嵌入强度表达式。此外，通过方程组式(14)可控制满足 DEM 高程精度的水印强度：

$$\begin{cases} |\alpha|\varepsilon \leqslant \max E \\ \sqrt{\dfrac{\sum_{i=0}^{n}(|\alpha|\varepsilon_i)^2}{n^2}} \leqslant \mathrm{RMSE} \end{cases} \tag{14}$$

式中，$\max E$、RMSE 分别表示不同地貌类型的 DEM 高程最大误差和中误差。将求得的嵌入强度 α(记为 α_2)与 α_1 相比，取较小的记为 α，即为同时满足 DEM 高程、坡度、坡向精度的水印最大嵌入强度。

1.4　算法实现

1）水印生成

对具有版权信息的二值水印图像，在密钥控制下，采用 Hash 算法，应用 MD5 函数进行置乱，将其作为待嵌入水印。

2）水印嵌入

嵌入流程图见图 1，首先将原始 DEM 数据(原始数据为 1∶1 万 DEM，分辨率 5 m，栅格行列数 512 像素×512 像素)划分为互不重叠 8 像素×8 像素分块，从中选取包含地性线的特征分块，并去除平坦、边缘和弱纹理区域的分块，将其作为水印待嵌入区域。

根据§1.3 的嵌入强度计算模型，通过给定坡度坡向的中误差和最大误差标准(坡度最大误差为 3.5°，中误差为 0.4°；坡向最大误差为 3.5°，中误差为 0.4°)，计算得到嵌入强度。对 DEM 各 8 像素×8 像素分块进行 DCT 变换，采用加性规则，将二值水印置乱后嵌入到 DCT 系数的中频位置，然后将嵌入水印的 DCT 系数作逆 DCT 变换，即得到含水印 DEM 数据。

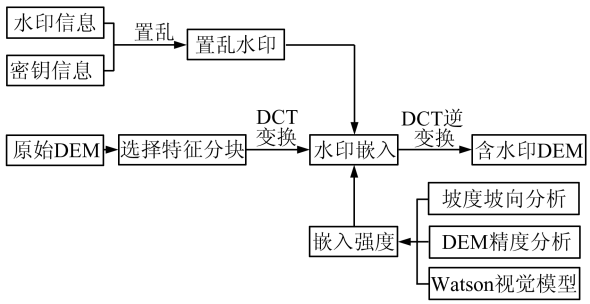


图 1　水印嵌入流程图

Fig. 1　Flowchart of Embedding

3）水印提取

水印提取过程是水印嵌入的逆过程。首先对待检测 DEM 进行 8 像素×8 像素分块，选择含水印的特征分块，然后对特征分块进行 DCT 变换，在持有密钥和原始 DEM 的情况下提取出水印图像。水印提取流程见图 2，实验结果如图 3 所示。

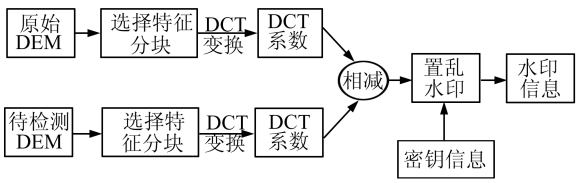
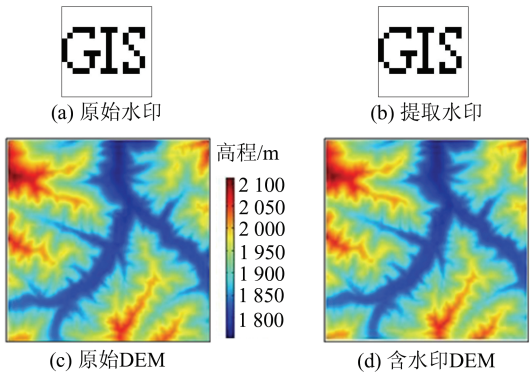


图 2　水印提取流程图

Fig. 2　Flowchart of Detecting Watermark



(a) 原始水印　(b) 提取水印

(c) 原始DEM　(d) 含水印DEM

图 3　实验结果

Fig. 3　Results of Experiment

2　实验结果分析

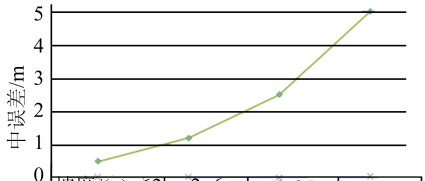
2.1　水印对 DEM 影响分析

1）水印对 DEM 数据精度的影响分析

对比分析水印嵌入前后 DEM 误差统计结果，高程最大误差为 0.25 m，中误差为 0.116 m。

参照 1∶1 万 DEM 精度标准，将地貌类型分为平地、丘陵、山地和高山地，并计算各地貌类型区含水印 DEM 与原 DEM 的高程中误差、最大误

差，将其与1∶1万DEM一级精度标准中理论中误差和最大误差作比较，如图4、图5所示，结果显示实际中误差和最大误差明显小于理论中误差标准。



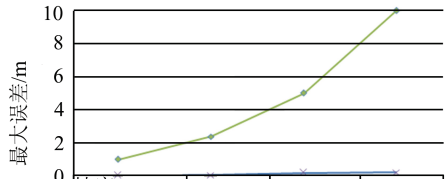
	坡度/(°)<2 平地	2~6 丘陵地	6~25 山地	>25 高山地
一级标准/m	0.5	1.2	2.5	5
算法2最大误差/m	0.003	0.006	0.016	0.03

图4 含水印DEM中误差与理论中误差对比

Fig. 4 Comparison of the Actual RMSE and Given RMSE

2）水印对坡度坡向精度的影响分析

对含水印DEM坡度误差进行统计分析，图6为水印嵌入前后DEM提取的坡度及坡度误差绝对值的分布。统计水印嵌入后DEM坡向误差，

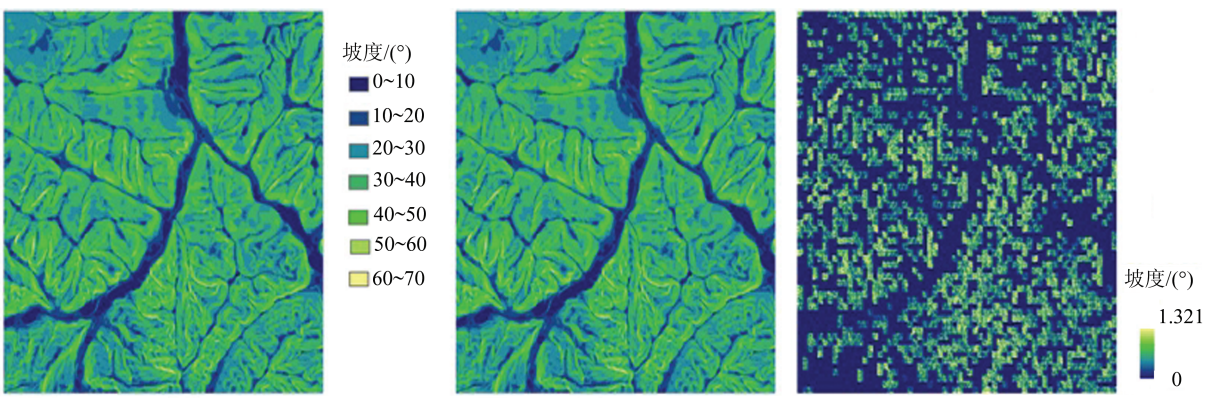


	坡度/(°)<2 平地	2~6 丘陵地	6~25 山地	>25 高山地
一级标准/m	1	2.4	5	10
算法2最大误差/m	0.039	0.059	0.202	0.23

图5 含水印DEM最大误差与理论最大误差对比

Fig. 5 Comparison of the Actual MaxE and Given MaxE

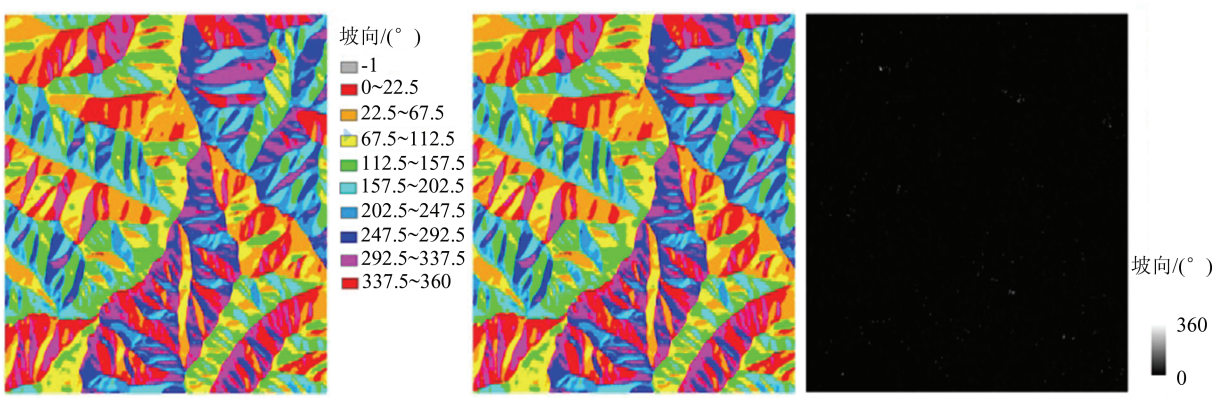
图7为水印嵌入前后DEM提取的坡向及坡向误差绝对值的分布。图8为含水印DEM坡度误差绝对值统计分布图，水印嵌入后的DEM坡度误差较小，最大误差为1.32°，中误差为0.259°，均小于给定的坡度误差参数。图9为含水印DEM坡向误差绝对值统计分布，可见坡向误差绝对值大多介于0°～3.5°。坡向是一种方向性数据，坡向误差位于356.5°～3.5°范围内的栅格在坡向分



(a) 原始DEM坡度 (b) 含水印DEM坡度 (c)水印嵌入前后DEM坡度误差绝对值

图6 原始DEM与含水印DEM坡度对比

Fig. 6 Slope Comparison Between Original DEM and Watermarked DEM



(a) 原始DEM坡向 (b) 含水印DEM坡向 (c) 水印嵌入前后DEM坡向误差绝对值

图7 原始DEM与含水印DEM坡向对比

Fig. 7 Aspect Comparison Between Original DEM and Watermarked DEM

布图中均位于北坡,故误差绝对值为 356.5°～360°的栅格实际误差绝对值应为 0°～3.5°。通过计算得到水印嵌入后的坡向最大误差为 3.5°,中误差为0.394°,均小于给定的坡向误差限。

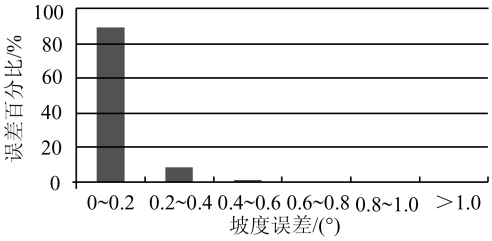


图 8　含水印 DEM 坡度误差绝对值统计分布

Fig. 8　Statistical Result of Slope Error of Watermarked DEM

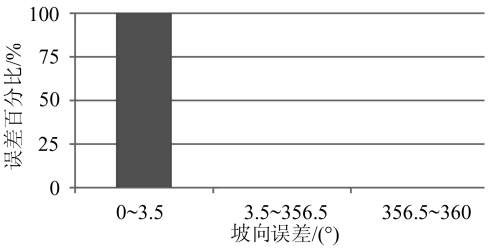


图 9　含水印 DEM 坡向误差绝对值统计分布

Fig. 9　Statistical Result of Aspect Error of Watermarked DEM

3) 水印对 DEM 其他应用精度的影响分析

含水印 DEM 频数直方图、等高线和坡度变率,与原 DEM 对比,如图 10～图 12。可以看出:① 水印对频数直方图影响很小;② 水印对等高线影响很小,含水印 DEM 等高线与原始 DEM 等高线基本重合;③ 水印在数值上对坡度变率略大于对坡度和坡向的影响,但影响不大。

2.2　与现有算法的对比分析

将本文算法(算法 1)与现有仅考虑 DEM 精度和视觉模型的 DCT 算法[15](算法 2)比较,在相同实验条件下从 DEM 高程精度以及提取的坡度、坡向精度等方面对比分析,见图 13、图 14 和表 1。可以看出:① 图 13 中,计算两种算法在不同地貌类型区的 DEM 高程中误差和最大误差,并与 1∶1 万 DEM 一级精度标准对比,本文算法对高程误差的控制能力明显优于现有算法。② 图 14 中,基于 4 种地貌类型区,分别计算两种算法的 DEM 坡度中误差和最大误差,结果显示本文算法的坡度误差远小于现有算法。③ 将两种算法的坡向误差分为八方向统计分析,如表 1,现有算法的坡向误差较大,而本文算法的坡向误差皆位于北坡,误差数值满足给定精度标准。

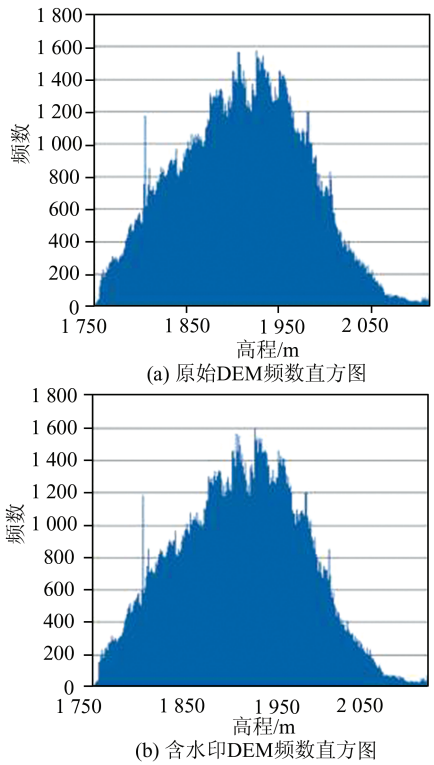


图 10　水印嵌入前后 DEM 频数直方图对比

Fig. 10　Histograms Comparison Between the Original DEM and Watermarked DEM

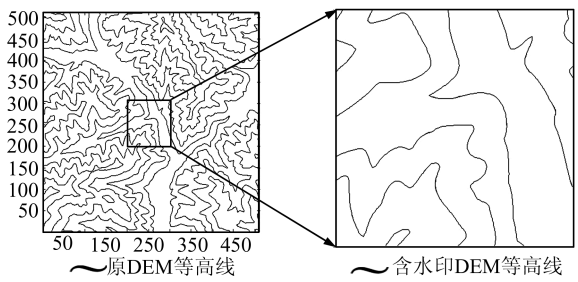


图 11　水印嵌入前后 DEM 提取等高线结果对比

Fig. 11　Contour Lines Comparison Between the Original DEM and Watermarked DEM

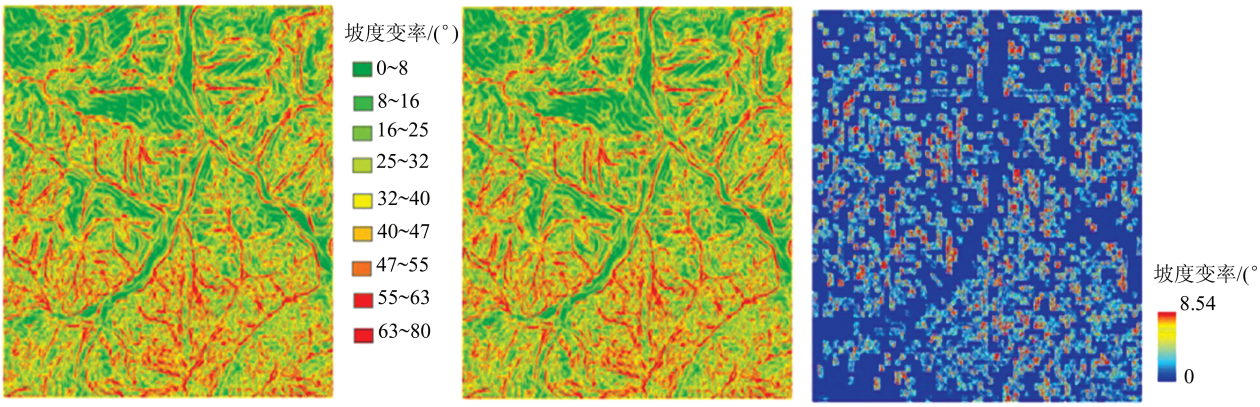
表 1　两种算法下的坡向误差分布对比

Tab. 1　Aspect Error Distribution Comparison Based on Two Different Algorithms

	北	东北	东	东南	南	西南	西	西北	北
算法 1 误差/%	97.74	0.84	0.03	0.01	0.01	0.01	0.03	0.22	1.10
算法 2 误差/%	99.94	0	0	0	0	0	0	0	0.06

2.3　鲁棒性分析

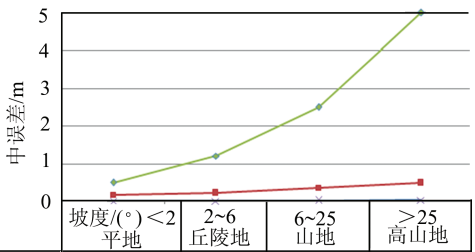
对含水印 DEM 分别进行 JPEG 压缩攻击和裁剪攻击。对含水印 DEM 进行不同压缩质量的 JPEG 压缩后,提取的水印如图 15 所示。对含水



(a) 原始DEM坡度变率 (b) 含水印DEM坡度变率 (c) 水印嵌入前后DEM坡度变率误差绝对值

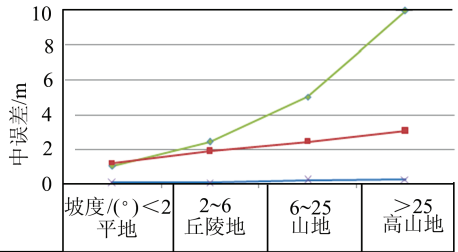
图12 原始DEM与含水印DEM坡度变率对比

Fig. 12 Comparison SOS (Slope of Slope) of Original DEM and Watermarked DEM



	坡度/(°)<2 平地	2~6 丘陵地	6~25 山地	>25 高山地
一级标准/m	0.5	1.2	2.5	5
算法2中误差/m	0.003	0.006	0.016	0.03
算法1中误差/m	0.163	0.227	0.349	0.49

(a) 两种算法高程中误差对比

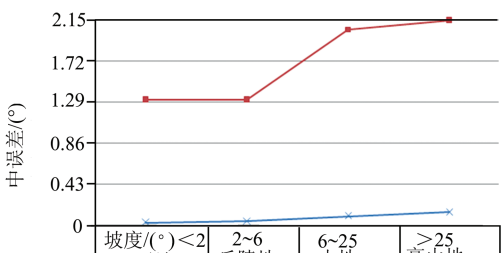


	坡度/(°)<2 平地	2~6 丘陵地	6~25 山地	>25 高山地
一级标准/m	1	2.4	5	10
算法2中最大误差/m	0.039	0.059	0.202	0.23
算法1中最大误差/m	1.197	1.886	2.42	3.053

(b) 两种算法高程最大误差对比

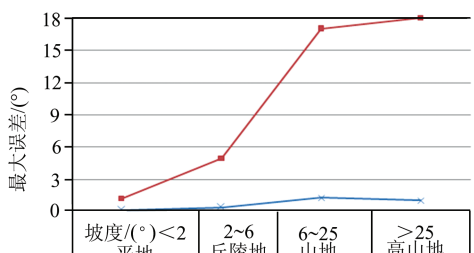
图13 两种算法下的高程误差对比

Fig. 13 Comparison of Elevation Error Based on Two Different Algorithms



	坡度/(°)<2 平地	2~6 丘陵地	6~25 山地	>25 高山地
算法2中误差/(°)	0.026	0.039	0.095	0.134
算法1中误差/(°)	1.318	1.318	2.048	2.148

(a) 两种算法坡度中误差对比



	坡度/(°)<2 平地	2~6 丘陵地	6~25 山地	>25 高山地
算法2最大误差/(°)	0.181	0.417	132	1.073
算法1最大误差/(°)	1.212	4.964	17.012	17.995

(b) 两种算法坡度最大误差对比

图14 两种算法下的坡度误差对比

Fig. 14 Comparison of Slope Error Based on Two Different Algorithms

印DEM进行4种不同形式的裁剪，由此提取得到的水印结果见图16。图15表明本算法具有抵抗JPEG压缩的能力，而图16显示当含水印DEM仅保留右上角的数据时，仍能提取出水印，表明其具有较稳健的抗几何剪切的能力。

3 结 语

数字水印技术可以为DEM版权保护提供解决方案，而水印的嵌入势必会影响DEM数据的精度，本文结合坡度、坡向计算模型以及Watson视觉模型，提出了一种基于DCT方法的DEM数字水印算法，算法实现了根据给定DEM应用精

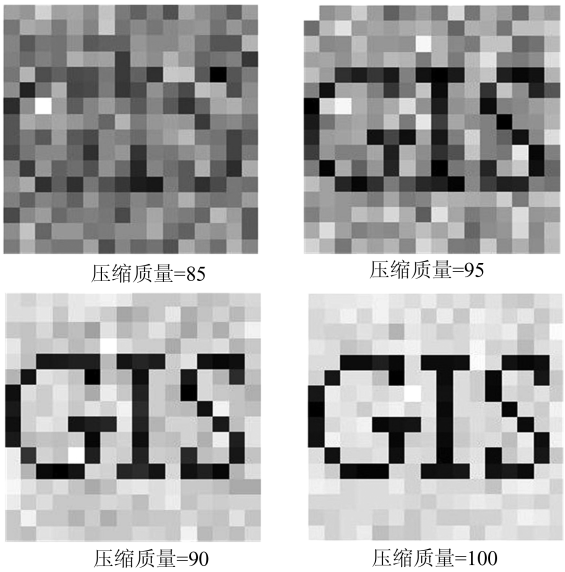


图 15　JPEG 攻击后提取水印的比较

Fig. 15　Comparison of Robustness to JPEG Compression

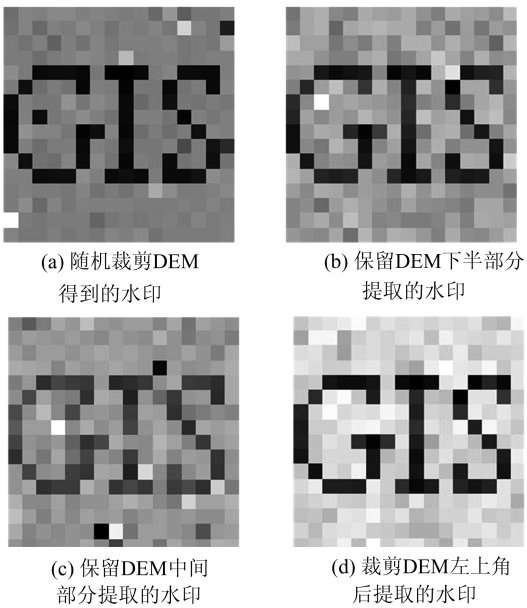


图 16　不同裁剪方式下提取水印的比较

Fig. 16　Comparison of Robustness to Cropping

度（坡度、坡向精度）确定水印最大嵌入强度。实验结果显示，算法既能满足水印视觉不可见性，又能实现 DEM 精度近无损性以及提取坡度、坡向和等高线的近无损，且具有较好的抗 JPEG 压缩和几何裁剪攻击的能力。与现有只考虑 DEM 高程精度的 DCT 域水印算法对比分析后发现，本文算法在控制高程、坡度和坡向精度上均具有明显的优势，并且基于本文算法的 DEM 高程精度能够满足 1∶1 万 DEM 一级精度标准。

坡向数据是一种方向性数据，其误差不仅包含了数据误差，同时还有方向误差，本文算法在满足数据精度的同时并不能达到方向近无损，因此，含水印 DEM 坡向方向近无损在后续研究中需要重点解决。

进一步研究方向为：DEM 蕴涵了丰富的地形信息，从中可以提取诸如地形起伏度、地表粗糙度等众多二次产品，能否从这些二次产品中检测出水印；DEM 数据具有众多交换格式，格式转换时，如何保证数字水印的鲁棒性。

参　考　文　献

[1] Lv Guonian, Liu Aili. Applicability of Watermarking Techniques to DEM[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2008(5): 810-818(闾国年，刘爱利. 数字水印技术的 DEM 版权保护适用性研究[J]. 遥感学报，2008 (5)：810-818)

[2] Zhu Changqing, Ren Na. An Algorithm for Digital Watermark Based on Pseudo-Random Sequence and DCT for Remote Sensing Image[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2011, 12(36): 1 427-1 429(朱长青，任娜. 一种基于伪随机序列和 DCT 的遥感影像水印水印算法[J]. 武汉大学学报・信息科学版，2011，12(36)：1 427-1 429)

[3] Gao Guangda, Ren Na, Wang Yongzhi, et al. Digital Watermark Algorithm Using Image Relocation and Traversal Detection for Remote Sensing Image [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 10(37): 1 229-1 231(高光大，任娜，王永志，等. 利用影像重定位和遍历检测的遥感影像水印算法[J]. 武汉大学学报・信息科学版，2012，10(37)：1 229-1 231)

[4] Kutter M, Bhattacharjee S K, Ebrahimi T. Towards Second Generation Watermarking Schemes [C]. Processing of 1999 International Conference on IEEE, Kobe, Japan, 1999

[5] Barni M, Bartolini F, Cappellini V, et al. Near-lossless Digital Watermarking for Copyright Protection of Remote Sensing Images[C]. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Torouto, Canada, 2002

[6] Maity S P, Kundu M K. An Image Watermarking Scheme Using HVS Characteristics and Spread Transform[C]. Proceedings of the 17th International Conference on IEEE, Cambridge, UK, 2004

[7] Luo Yong, Zhao Yan, Cheng Lei, et al. Lossless Visible Three-Dimensional Watermark of Digital Elevation Model Data[J]. *Transactions on Edutainment*, 2012(8): 138-147

[8] Wang Zhiwei, Zhu Changqing, Yang Chengsong. A Digital Watermarking Algorithm of DEM Based on

the Analysis of Slope[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2009, 25(1): 91-94(王志伟，朱长青，杨成松. 一种基于坡度分析的DEM数字水印算法[J]. 地理与地理信息科学，2009，25(1)：91-94)

[9] Zhu Changqing, Wang Zhiwei, Long Yi, et al. An Adaptive Watermarking Algorithm for DEM Based on DFT[C]. Proceedings 24th International Cartographic Conference, Chile, 2009

[10] Liu Aili, Lv Guonian. Copyright Protection of DEM by Means of DCT-based Digital Watermarking [J]. *Geo-Information Sciense*, 2008, 10(2): 214-223(刘爱利，闾国年. 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)

A DCT DEM Digital Watermarking Algorithm Based on the Analysis of Slope and Aspect

LIU Aili[1] *DING Hu*[1,2] *TIAN Dan*[1] *WANG Li*[1] *WANG Shaofeng*[3]

1 School of Geography and Remote Sensing, Nanjing University of Information Science&Technology, Nanjing 210044, China

2 Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China

3 73608 Troops, Nanjing 210028, China

Abstract: A digital of the current study watermarking algorithm based on DCT is presented to protect the copyright of DEM data. The of the current study aim is to solve the problem that how to balance the robustness requirements of the watermark and the high precision need of the DEM. Namely the watermarking algorithm should not only have near-lossless but also robustness and be adaptive. As for the watermarking embedding strength, it is calculated by combing with the precision of the slope and aspect of the DEM and the Watson perceptual model. And by given slope and aspect precision, the watermark embedding strength can be calculated automatically. Moreover, the methodology is designed to embed a watermark in terrain lines in order to improve the robustness. The experiment results are satisfying not only in the near-lossless of the DEM precision of slope and aspect, but also in the transparency of watermark. Besides, the contour line and the SOS (slope of slope) index derived from the watermarked DEM are near-lossless as well. In addition, the watermark can resist the JPEG compression and cropping attack which means that the watermark possess robustness.

Key words: DEM; digital watermarking; DCT; slope; aspect

First author: LIU Aili, PhD, associate professor, specializes in the digital terrain analyst and digital watermarking technique. E-mail: liuaili@nuist.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 41401471.