

基于行小波编码的纹理隐藏三维地形数据算法*

杨岳湘¹, 罗 永², 成礼智², 卢锡城¹

(1. 国防科技大学 计算机学院, 湖南 长沙 410073; 2. 国防科技大学 理学院, 湖南 长沙 410073)

摘 要 :讨论利用纹理图像隐藏高程信息来保护三维地形数据的信息隐藏技术。首先提出了改进的基于行小波变换及其编码,在保持地形形状和起伏特征的前提下实现高程数据的极低比特率低存储压缩。通过研究可嵌入隐藏信息的小波系数集合生成方法并结合基于视觉系统(HVS)小波域量化噪声的视觉权重(JND)分析技术,提出了自适应确定信息嵌入强度的方法。由于隐藏过程采用分组密码 Rijndael 生成单向 Hash 函数,信息隐藏算法高度安全、可以公开。

关键词 :信息隐藏;数字高程模型;基于行小波编码

中图分类号 :TP391 **文献标识码** :A

Three-dimensional Landform Data with Texture Information Hiding Technique Via Line-based Wavelet Code(LBWC)

YANG Yue-xiang¹, LUO Yong², CHENG Li-zhi², LU Xi-cheng¹

(1. College of Computer, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. College of Science, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract :An information hiding technology is presented in this paper, in which the 3-D landform data is protected and the information of elevation is hidden in the texture. In keeping the terrain figure and hypsography, the terrain information is compressed in low bit ratio and least memory by using improved line-based code approach. A method to build the wavelet coefficient set which can be embedded into the hided information is provided. The strength of the embedding data is image-adaptive according to the wavelet quantization noise, achieving the maximum strength of Just Noticeable Distortion (JND) tolerance of Human Visual System (HVS). Since hiding process is accomplished by using Rijndael code to construct Hash one-way function, the proposed algorithm has very high safety and its arithmetic can be public.

Key words :information hiding; digital elevation mode; LBWC

数字高程模型(DEM)^[1]是指在某一投影平面(如高斯投影平面)上规则格网点的平面坐标(X, Y)及高程(Z)的数据集。它是地形形状大小和起伏特征的数字描述。DEM 数据以 Grid 格式存储,DEM 可以写成矩阵的形式:

$$\begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & \cdots & Z_{0(n-1)} \\ Z_{10} & Z_{11} & \cdots & Z_{1(n-1)} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Z_{(n-1)0} & Z_{(n-1)1} & \cdots & Z_{(n-1)(n-1)} \end{bmatrix}$$

其中 Z_{ij} 为格网结点 i, j 上的海拔高程。目前对于 DEM 数据的研究集中于数据生成和特征检测^[2-3]等方面,也有一些研究人员对三角模型和体数据模型^[4]做了一定的研究,这些研究是基于非网格数据进行的,我们要研究的 DEM 数据是一种 RSG(栅格)数据。

文献 5-6 实现了基于小波的 DEM 数据数字水印算法。由于 DEM 数据庞大,不便于传输和存

* 收稿日期:2006-09-02

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60573027)

作者简介:杨岳湘(1965—),男,教授,在职博士生。

储,而文献[5-6]中算法采用行列法(Row Column Method)实现 DEM 数据二维小波变换,因此需要将整个数据读入寄存器进行处理。DEM 数据是一种典型的海量数据^[2],在开发移动终端的过程中涉及到硬件实现的问题。传统的行列法实现的小波变换虽然能够达到较好的效果,但是大幅度提高了硬件实现成本,也降低了移动终端的灵活性。因此,针对文献[5-6]存在的弊端研究低存储 DEM 数据保护方法具有重要意义。

基于行小波变换(LBWC)最早由 C. Chrysafis, A. Ortega^[7]在 1999 年提出,并在诸多的图像压缩中使用,LBWC 已经被包含到最新的国际图像压缩标准——JPEG2000^[8]中。其主要思想为,为了最大限度地减小缓存开销,尽可能少地在内存中保留原始数据;一旦某些原始数据不再参与产生变换系数,就尽可能早地将其抛弃。为了进一步降低硬件存储开销,本文在文献[7]的基础上,对 LBW 编码方法作了一定改进。

利用 DEM 数据的特性,通过研究改进基于行的小波变换压缩编码,提出将 DEM 高程信息经过改进基于行的小波压缩以后隐藏到纹理图像数据中去,提出了一种将纹理图像作为隐藏信息的载体,而高程信息隐藏于其中的低存储信息隐藏新方法,这对具有海量数据特征的 DEM 数据处理具有非常重要的实际应用价值。

另外,从安全性来看,高程信息经过数据压缩以后隐藏在纹理中,即使非法用户能够获得纹理信息,也无法获得高程信息。同时隐藏信息前后的纹理图像差别的不可见性保证了数据的隐蔽性,Rijndael 密码^[9]生成的单向 Hash 函数的使用确保了方法的安全性。使用基于视觉系统(HVS)小波域量化噪声视觉权重(JND)^[10]分析方法实现了确定高程信息嵌入强度的自适应性,以及提高了隐藏信息的抗攻击能力。

1 改进的基于行小波编码与 DEM 图像压缩

基于一种滑动窗口技术,相对于普通的行列法,LBWC 的内存节省十分可观。例如,对于 512×512 像素的图像,内存开销至少可以减小一个数量级,而且图像尺寸越大,内存减小的幅度越大。LBWC 的变换过程大致可以分为 3 个阶段:(1)初始化阶段;(2)平稳输出阶段;(3)数据延拓输出阶段。在阶段(1),变换引擎积累输入数据,填充其内部各缓冲区,在该阶段,无变换数据输出,该阶段所输入的数据总量可称之为系统的时延 Latency;在阶段(2),变换引擎为一个单进单出的系统,输入的每一个数据均对应一个变换系数的输出;在阶段(3),无原始样本数据输入,通过对变换引擎内部各缓冲区进行延拓,可以再输出数据为 Latency 的变换系数。与行列法的 DWT 分解类似,LBWC 变换引擎输出的变换系数数量与输入数据数量相同。

在下面的分析中,只考虑图像压缩中应用最广泛的线性相位双正交小波滤波器组,并且始终假设待处理的信号长度为偶数(如果原始数据长度为奇数,可以通过补零或重复边缘数据使信号长度为偶数)。针对 DEM 数据的海量特性,本文编码与文献[7]方法的区别在于尽早产生变换后系数以减少系统时间上的延迟。例如,在 $t = t_0$ 时刻假定分解端已经接收了 $t_0 + 1$ 个数据,由于图像压缩中的小波变换以对称系数小波变换效果最佳,因此对图像数据也采用对称延拓,使 L_l 数据填满整个移位寄存器,立即开始滤波操作。表 1 为改进基于行方法需要缓存消耗情况比较。

表 1 滤波器长度与缓存消耗比较

Tab.1 Compare the length of filter and consumption of memory

小波滤波器长度	LBWC	Latency
(13, 7)	65K	186
(9, 7)	41K	124
(5, 3)	25K	62
(10, 6)	58K	155

下面讨论 DEM 数据的压缩问题。为了能够应用改进基于行的小波变换进行压缩,并且尽量保证

DEM数据的精度,实验中在压缩之前将DEM数据放大10 000倍,然后对高程数据进行取整,取整的原则是保持地形形状和起伏特征基本不变。

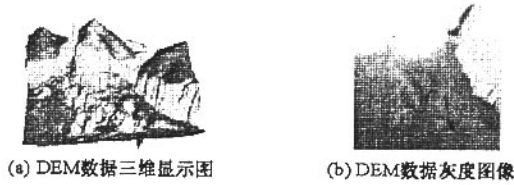


图1 DEM数据三维显示与灰度图像显示
Fig.1 DEM data 3D show and its Gray image

上面两组图像是数字高程模型数据归一化到 $[0-255]$ 整数以后,将其转化为灰度模拟图像。从图1(b)中可以发现,DEM数据转化为灰度模拟图像以后,其图像的灰度变化非常缓慢,表明数据间相关度大,有大量的冗余信息。所以可以利用小波图像压缩的原理,取极低比特率来压缩DEM数据,而且可以达到非常好的效果。

图2、3是改进基于行的DEM数据压缩的算法流程和压缩效果图。

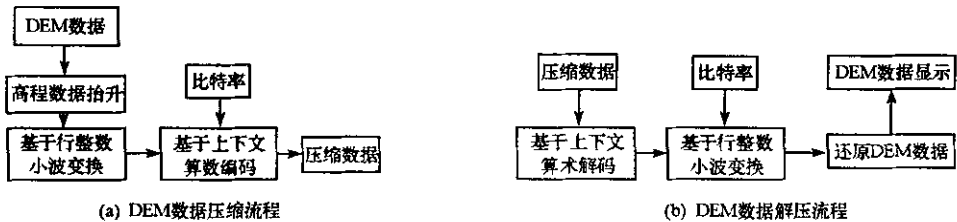


图2 改进基于行的DEM数据压缩和解压缩的流程图
Fig.2 The process of DEM data compression and decompression

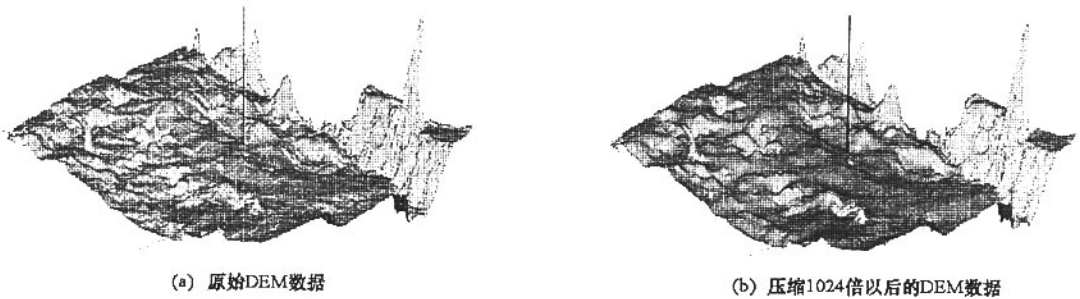


图3 改进基于行的DEM数据压缩实验

Fig.3 The compression experiment based on mended transformation based on line

实验表明,在内存仅为128MB的微机上,改进基于行的小波三维地形压缩软件(每次只需要读取若干行数据)系统可以一次压缩1GB的庞大DEM数据(采用行列法的软件需要将整个DEM数据读入内存,再进行变换,从而无法实现压缩和重构),这给三维海量DEM数据压缩低存储实现提供了可能。

2 信息隐藏方法描述

2.1 信息隐藏流程

如图4所示,首先将DEM高程数据经过改进基于行小波编码算法进行压缩,取极低比特率,使数据压缩到1K(512×512)。第二步对纹理图像进行基于行的小波变换,将压缩以后的DEM数据隐藏到纹理数据的基于行小波变换系数中。最后重构数据就得到了隐藏信息的纹理图像。

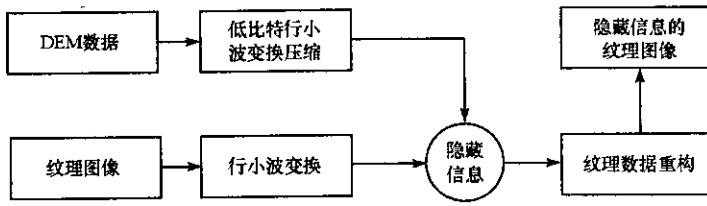


图 4 信息隐藏流程图

Fig.4 Information hiding process

2.2 构造单向 Hash 函数

AES 是 1997 年 1 月由 NIST 提出的,其目的是开发一种新的能保证政府信息安全的编码算法。最后经过多方评估从 15 种算法中选出 Rijndael 算法作为 AES 编码标准。在当今电子商务迅猛发展的情况下,Rijndael 密码^[9]可以作为支持电子商务的关键性计算机安全工具。

Rijndael 是一种迭代分组密码^[9],Rijndael 对密钥没有特别要求(没有明显的弱密钥),密文 01 分布均匀。这里应用 Rijndael 密码构造一个 Hash 函数^[9]来产生伪随机序列。利用密钥 K 和种子 $seed$ 用图 5 的方法就可以构造出可以再现(持有 K 和 $seed$)的伪随机序列。

2.3 信息隐藏算法

$\{M_i | 0 \leq i \leq S-1\}$ 为可嵌入隐藏信息的系数集, G 表示集合生成的阈值。生成方法如下:

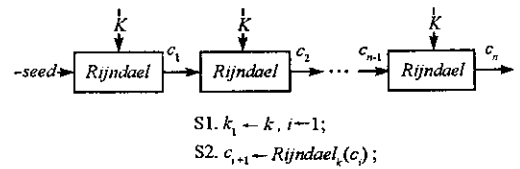


图 5 Rijndael 分组密码构造 Hash 函数
Fig.5 Construct Hash function by Rijndael code

- (1) 搜索绝对值最大的小波系数 W_{max} ;
- (2) 计算 $T, T=2^{\lceil \log_2 W_{max} \rceil}$ 则 $T < W_{max} < 2T$;
- (3) 计算可利用集合数 S , 对应于选定的阈值 G , 满足 $|T/2^s| > G$;

(4) 系数搜索,生成系数集合

$$M_0 = \{\omega_{k_0^0}, \omega_{k_1^0}, \omega_{k_2^0}, \dots, \omega_{k_{r_0}^0}\}, \text{ 满足 } |\omega_{k_i^0}| \in [T/2, T)$$

$$M_1 = \{\omega_{k_0^1}, \omega_{k_1^1}, \omega_{k_2^1}, \dots, \omega_{k_{r_1}^1}\}, \text{ 满足 } |\omega_{k_i^1}| \in [T/2, T)$$

.....

$$M_{s-1} = \{\omega_{k_0^{s-1}}, \omega_{k_1^{s-1}}, \omega_{k_2^{s-1}}, \dots, \omega_{k_{r_{s-1}}^{s-1}}\}, \text{ 满足 } |\omega_{k_i^{s-1}}| \in [T/2^{s-1}, T/2^{s-2})$$

$\{M_i\}$ 中每个集合包含的小波系数的数量分别为 $r_0, r_1, \dots, r_{s-2}, r_{s-1}$ 。

因此嵌入信息过程可以描述如下:首先通过单向 Hash 函数产生伪随机序列 $\{(t, r)_i | 0 < i < Q\}$ (Q 表示压缩数据信息量), 根据 $(t, r)_i$ 选取系数集合 M_t , 然后在 M_t 中选取小波系数 $\omega_{k_r^t}$, 通过修改小波系数 $\omega_{k_r^t}$ 将 1bit 信息 b 嵌入($T_{l,f}$ 为可见阈值(JND)^[13]确定的修改幅度 $[]$ 表示取整): $\omega'_{k_r^t} = [\omega_{k_r^t} / 2T_{l,f}] \times 2T_{l,f} \pm T_{l,f} \times b$, 最后将所有的压缩数据嵌入到纹理数据中。

提取高程信息的过程就是利用密钥和种子再现伪随机序列,按照上面的过程将隐藏在纹理数据中的高程压缩信息提取,最后解压缩重新恢复原始信息。

3 实验结果

下面讨论算法的实验结果。为了提供更好的比较性,在实验中,纹理图像是 24 位彩色标准图像(将标准图像作为纹理贴在地形图上,模拟地貌),DEM 数据和纹理图像的尺寸都是 512×512 。

图 (a) 表示原始的三维地形数据显示示意图,图 (b) 是没有隐藏高程信息的纹理图像,图 (c) 是带纹理的 DEM 数据的显示,图 (d) 是隐藏了 DEM 高程数据的纹理图像,图 (e) 是从图 (d) 中恢复出高程信息并显示出来。从实验中可以看出,隐藏了高程数据的纹理图 (d) (PSNR=35.37) 依然保持

了良好的图像效果,纹理图像在嵌入信息前后的差别是视觉分辨不出来的。恢复出来的 DEM 数据保持了地面起伏和地形形状不变。

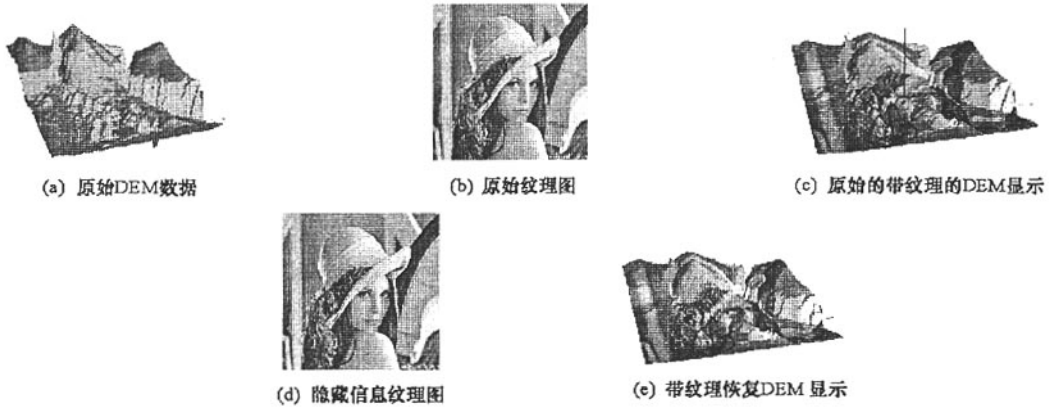


图6 纹理数据隐藏高程数据实验

Fig.6 Experiment of the grain data hiding the DEM data

最后分析方法的安全性,对于所有的用户来说,纹理数据是公开的,只有合法用户或者版权拥有者才可以将隐藏的高程数据提取并还原出来。该方法将高程数据隐藏主要的目的是防止非法用户觉察到隐藏的高程信息的存在(隐蔽性),同时保证隐藏信息的安全(不能被非法用户获取)。该方法对 JPEG 压缩($quality > 85$)也有一定的抵抗能力,事实上,由于嵌入信息是压缩数据,当少量数据出现错误则整个数据解压结果与原始数据造成非常大的偏差。因此该方法能够防止攻击者获取地形信息,但是当攻击者对纹理图像进行严重的破坏以后,有可能压缩数据就不能正常解压。这对于攻击者也是没有意义的,纹理数据作为公开数据(破坏以后可以重新获取),攻击者是不可能获得关键的地形信息的。

4 结论

本文提出了改进基于行的小波变换,进一步降低方法的存储量与计算复杂性,从而设计了新的基于 LBWC 的三维 DEM 数据的极低比特率压缩算法,算法具有压缩效率高、图像恢复质量好的优点。通过提出可嵌入隐藏信息的小波系数集生成方法以及引入基于视觉系统(HVS)小波域量化噪声的视觉权重(JND)分析方法,建立了确定信息嵌入强度的自适应途径。实验验证了方法具有抗压缩特性、高度安全性以及隐藏信息不可见性。

参考文献:

- [1] Shamos M I, Hoey D. Closest-point Problems[A]. Proceeding of the 16th Annual IEEE Symposium on Foundation of Computer Science [C], Berkeley, CA, 1976: 208-215.
- [2] 胡金星, 吴焕萍, 潘懋. 基于网格划分的海量 DEM 数据生成[J]. 计算机辅助设计与图形图像学报, 2004, 16(1): 41-44.
- [3] 李永荣, 张继贤, 黄国满, 等. 用星载合成孔径雷达(SAR)立体影像生成 DEM 的方法研究[J]. 测绘科学, 2005, 30(6): 28-29.
- [4] 刘旺, 姜守达, 孙圣和. 基于三维 DCT 变换的体数据鲁棒数字水印嵌入算法[J]. 电子学报, 2005, 33(12): 2174-2177.
- [5] 罗永, 成礼智, 等. 数字高程模型数整数小波水印算法研究[J]. 软件学报, 2005, 16(6): 1096-1103.
- [6] 罗永, 成礼智, 吴翊, 等. 带纹理的三维地形数据信息隐藏技术研究, 计算机辅助设计与图形学报. 2005, 17(5): 889-894.
- [7] Chrysafis C, Ortega A. Line-based, Reduced Memory, Wavelet Image Compressor[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(3): 378-389.
- [8] ISO/IEC/JTC1/SC20 WG1 N2000[S]. JPEG2000 Part I Final Committee Draft, 2000.
- [9] Daeman J, Rijmen V. AES Proposal: Rijndael (2nd Version) [R]. AES Submission.
- [10] Watson A B, Yang G Y. Visibility of Wavelet Quantization Noise[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(8): 1164-1174.

