引文格式：刘少博,陈彦江,陈丽,等. 一种工程矢量瓦片地图加密和压缩策略研究[J]. 地理空间信息, 2024, 22(8): 33-36. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.08.007

一种工程矢量瓦片地图加密和压缩策略研究

刘少博[1]，陈彦江[1]，陈　丽[1]，周永博[1]，李富鹏[1]，裴之垣[2]
（1. 国网甘肃省电力公司数字化事业部，甘肃 兰州 730050；2. 国网甘肃省电力公司定西供电公司，甘肃 定西 744300）

摘　要：为避免在压缩和加密工程矢量瓦片地图信息过程中出现过拟合状态、数据安全性较差等情况，提出一种工程矢量瓦片地图加密和压缩策略。基于MBTiles设置工程矢量瓦片金字塔模型参数，遍历分析瓦片数据集，分级索引瓦片地图；利用基于特征上限的瓦片地图信息压缩算法，处理压缩过程中可能出现的过拟合情况；应用RSA算法改进区块链技术，加强各区块间的联系，转码矢量瓦片地图信息，实现瓦片信息的有效存储。实验结果表明：①利用该模型压缩瓦片地图信息后，其存储耗时最大值为0.9 s，存储空间值均小于4 TB；②加密地图信息后，地图信息特征完全被打乱。可有效避免压缩过程中出现过拟合状态，降低信息存储耗时，减小存储消耗空间，信息的压缩和加密效果较好。

关键词：区块链技术；深度卷积神经网络算法；矢量瓦片；地图存储
中图分类号：P283　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）08-0033-04

Encryption and Compression Strategy Research on Engineering Vector Tile Map

LIU Shaobo[1], CHEN Yanjiang[1], CHEN Li[1], ZHOU Yongbo[1], LI Fupeng[1], PEI Zhiyuan[2]
(1. Digitalization Division of State Grid Gansu Electric Power Company, Lanzhou 730050, China;
2. Dingxi Power Company, State Grid Gansu Electric Power Company, Dingxi 744300, China)

Abstract: We proposed an encryption and compression strategy for engineering vector tile map in order to avoid over fitting and poor data security in the process of compressing and encrypting engineering vector tile map information. We set the engineering vector tile pyramid model parameters based on MBTiles, traversed and analyzed the tile data sets, and hierarchically indexed the tile maps. Then, we utilized a tile map information compression algorithm based on the upper limit of features to handle possible over fitting situations during the compression process, and applied the RSA algorithm to improve block chain technology, strengthen the connection between various blocks, transcode vector tile map information, and achieve effective storage of tile information. The experimental results show that ①after compressing tile map information using this model, the maximum storage time is 0.9 s, and the storage space value is less than 4 TB. ②After encrypting the map information, the map information features are completely disrupted, which can effectively avoid overfitting during the compression process, reduce information storage time and space consumption, and achieve good information compression and encryption results.

Key words: block chain technology, deep convolution neural network algorithm, vector tile, map storage

在互联网技术高速发展的大环境中，地图的应用也出现新的变化。地图从最早的地球仪、纸质地图变成网络地图。当瓦片这一概念出现后，网络地图的响应速度有效提升，用户使用体验感得以改善[1-3]。近年来，国家重点关注数字中国工程，数字化城市建设的速度明显提升。在2010年，我国多个城市都被划入数字城市的队伍，地图瓦片信息的压缩与加密处理成为该领域研究的重点内容[4-6]。

为了解决前期研究中存在的问题，如压缩处理中出现过拟合状态、无法有效控制访问权限等，本研究基于区块链技术与深度卷积神经网络算法的工程矢量瓦片地图存储模型。

1　工程矢量瓦片地图压缩和加密策略

1.1　基于MBTiles的瓦片地图分级索引

1.1.1　工程矢量瓦片金字塔模型参数设置

1）把地图范围细分为49份，设成第一级工程矢量瓦片地图，此级别的地图比例尺是1∶1 000 000[7]。

2）把第一级的工程矢量瓦片地图再细分为4^2份，设成第二级工程矢量瓦片地图，此级别的地图比例尺是1∶250 000。

3）把第二级的工程矢量瓦片地图再细分为4^3份，设成第三级工程矢量瓦片地图，此级别的地图比例尺是1∶50 000。

收稿日期：2022-11-22。
第一作者简介：刘少博（1988—），硕士，高级工程师，主要研究方向为电网数字化，E-mail：aoweng47004@163.com。

4）把第三级的工程矢量瓦片地图再细分为 4^2 份，设成第四级工程矢量瓦片地图，此级别的地图比例尺是1∶10 000。

5）把第四级的工程矢量瓦片地图再细分为 4^2 份，设成第五级工程矢量瓦片地图，此级别的地图比例尺是1∶2 000。

工程矢量瓦片地图的瓦片坐标原点处于经纬度是0的部位，将参考点设成瓦片左下角点，通过瓦片编码 $[W,x,y]$ 描述瓦片信息。W 就是瓦片的级别，x 、y 是横、纵坐标信息，坐标信息均为整数，最小值为0。

1.1.2 瓦片数据集遍历分析

MBTiles 是在工程矢量瓦片金字塔模型中索引瓦片地图数据时的信息编码文件[8]。运算在目前级别中，需要建立的MBTiles文件数目、各个MBTiles文件相应的文件坐标编码。设置此级别的瓦片坐标区域是矩形 $[n_d,n_s,m_d,m_s]$，n_d 、n_s 是行号，m_d 、m_s 是列号。此区域建立的MBTiles文件坐标编码区域是 $[n_D,n_S,m_D,m_S]$，D（d）、S（s）分别是列与行的数目[9]。那么实际瓦片坐标区域与MBTiles文件坐标编码区域2个区域的关系是：

$$n_D=\left\lfloor\frac{(n_d)^2}{d^2}\right\rfloor \tag{1}$$

$$n_D=\left\lfloor\frac{(n_s)^2}{s^2}\right\rfloor \tag{2}$$

$$n_D=\left\lfloor\frac{(m_d)^2}{d^2}\right\rfloor \tag{3}$$

$$n_D=\left\lfloor\frac{(m_s)^2}{s^2}\right\rfloor \tag{4}$$

在工程矢量瓦片地图索引模型中设计此级别的索引，按照 D 值的信息设计索引，在逐列的索引中设计不含内容的MBTiles文件，文件名称就是 S 值，按照此方法设计MBTiles文件在工程矢量瓦片地图索引模型的表达模式。

在全部瓦片信息读取完成后，根据各个瓦片的位置信息，建立相应的MBTiles文件，然后参照标准保存在文件中。如果某个瓦片的瓦片坐标编码是 h_d 列、h_s 行，那么相应的MBTiles文件坐标列 D 、行 S 值是：

$$D=\left\lfloor\frac{(h_d)^2}{d^2}\right\rfloor \tag{5}$$

$$S=\left\lfloor\frac{(h_s)^2}{s^2}\right\rfloor \tag{6}$$

索引瓦片地图时，会根据瓦片位置坐标保存瓦片信息，以提前设定的MBTiles文件中瓦片索引数目为标准，将每 $d\times s$ 个瓦片设成一个瓦片数据集，把各个数据集保存在相应的MBTiles文件中。

某级别的全部瓦片完成索引后，遍历后续各个级别瓦片，当全部级别的瓦片地图都被索引便可停止。

1.2 瓦片地图信息压缩与加密模型

为了有效存储遍历后的大量数据，需要通过深度卷积神经网络算法对瓦片地图信息进行压缩处理，并利用区块链技术完成数据信息加密。

1.2.1 基于特征上限的瓦片地图信息压缩算法

因为工程矢量瓦片地图信息较多，占用内存较大，在存储工程矢量瓦片地图信息时，需要对其实施压缩。由于瓦片地图信息以图像为主，为此，本研究应用深度卷积神经网络算法，压缩工程矢量瓦片地图信息，以此提高工程矢量瓦片地图存储效率。

设置工程矢量瓦片地图是 $R=\{R_1,\ldots,R_n\}$，将 R_n 设成深度神经网络的输入与输出。深度卷积神经网络学习时，主要分为卷积层学习与下采样层学习。其中卷积层学习在前层提取时对工程矢量瓦片地图实施卷积操作。将第 z 层卷积核的长与宽依次设成 ks_1 、ks_2，则多个卷积一起建立的卷积层单元输出结果是：

$$f_i^z=g\left(\sum_{j\in C_i}f_i^{z-1}\otimes k_{s_{ji}}^z\right)+u_i^z k_{s_1}k_{s_2} \tag{7}$$

式中，g 、C_i 、u_i^z 依次为目前层的激活函数、输入映射值、工程矢量瓦片地图第 z 层第 i 个特征图的偏置；$k_{s_{ji}}^z$ 、f_i^{z-1} 依次为工程矢量瓦片地图第 z 层卷积核的尺寸、工程矢量瓦片地图第 $z-1$ 层第 i 个特征图的偏置。

$z+1$ 层的神经元属于运算 z 层神经元的核心，将 z 层神经元的激活函数设成 d_i^z，依次运算 d_i^z 和权值函数、梯度值相乘后的结果，此结果即为卷积神经网络的神经元 s_h。将深度卷积神经网络的下采样层实施上采样处理，处理后的下采样层 s_h 是：

$$s_{h_i}^z=\rho_i^{z+1}\left(d_i^z\otimes o\left(s_{h_i}^{z+1}\right)\right) \tag{8}$$

$$d_i^z=g\left(e_i^z\right) \tag{9}$$

式中，工程矢量瓦片地图特征采样因子、第 z 层的第

i 个神经元与下采样层的上采样处理依次描述成 ρ_i^{z+1} 、e_i^z 、o ；$s_{h_i}^{z+1}$ 为第 $z-1$ 层第 i 个神经元。

1）卷积层的学习不可避免地会出现过拟合状态，但当采样层处于最大池化状态时，运算工程矢量瓦片地图的特征上限信息，便可降低运算难度，抑制网络的不稳定性，防止出现过拟合情况，进而降低存储耗时。下采样层学习过程是：

$$f_i^z = g\left(\rho_i^{z+1} s\left(f_i^{z-1}\right) + u_i^z s_{h_i}^{z+1}\right) \tag{10}$$

式中，上采样层的下采样处理因子是 s 。

2）深度卷积神经网络收敛后，获取全连接层输出结果，则工程矢量瓦片地图特征上限信息更新为 $P_j = \left\{P_1^j, \ldots, P_n^j\right\}$ 。

3）使用 $P_j = \left\{P_1^j, \ldots, P_n^j\right\}$ 提取新的工程矢量瓦片地图特征聚类标签 l_{j+1} ，并将其设成后续迭代时深度卷积神经网络的输出。

4）反复操作后迭代次数为最大值，使用降噪自动编码器，把最后获取的工程矢量瓦片地图特征编码成指定的编码长度，完成稀疏自编码。

获取指定的结合特征上限更新结果后，完成瓦片地图信息压缩算法设计[10]。

1.2.2　改进后矢量瓦片地图信息加密算法

工程矢量瓦片地图是工程的隐私信息，工作人员在存储工程矢量瓦片地图时需要保证瓦片地图的安全性。为了防止外人恶意使用存储的工程矢量瓦片信息，需要对工程矢量瓦片地图信息进行加密，即利用区块链技术增强所存储工程矢量瓦片地图信息的安全性，加密矢量瓦片地图信息的整体逻辑关系如图1所示。

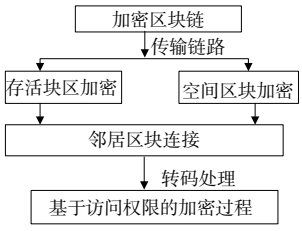


图1　加密矢量瓦片地图信息的上链逻辑

由图1可知，在存储工程矢量瓦片地图信息之前，使用区块链技术设计工程矢量瓦片地图信息的加密区块链。在加密区块中将存储工程矢量瓦片地图的整体信息实施全方位加密，并且使加密后的区块相互联系。设置区块链宽度是 E ，那么：

$$E = \left\{j(x,y)_{d\times s} \middle| x \in J_1 \cap J_s, y \in J\right\} \tag{11}$$

式中，工程矢量瓦片地图信息存储时，工程矢量瓦片地图信息加密主区块 $j(x,y)$ ，$j(x,y)$ 的横纵坐标是 (x,y) ；全部主区块集合是 J ；存活区块（已加密完毕区块）与空间区块（未加密区块）的集合依次是 J_1 、J_s 。

存储工程矢量瓦片地图信息时，各区块非持续地往主区块传输信息。将传输链路的中心设成节点，通信网络模型设成 J_c ，区块之间的连接是：

$$J_c = \beta J \cap E J_1 \tag{12}$$

式中，邻居区块为 β 。如果 β 值是 m ，这时邻居区块就是 $m+1$ 、$m-1$ ，把 m 和 $m+1$ 或者 m 和 $m-1$ 引入式（12）中，便能获取具有连续性的2个区块信息，在此条件下便可完成多个工程矢量瓦片地图信息传输区块的连接。

工程矢量瓦片地图信息传输区块加密是为了在存储信息时，控制访问权限，防止外人恶意使用存储的工程矢量瓦片信息，增强所存储工程矢量瓦片地图信息的安全性。使用RSA加密算法调用区块链技术，对矢量瓦片地图信息进行转码处理，提升数据破解难度，充分发挥区块链技术的信息处理优势，实现工程矢量瓦片地图信息加密。

$$\mathrm{don} = \left(j(x,y), I_c\right) O_c \tag{13}$$

式中，I_c 、O_c 依次为主区块的公开密钥、存储模型的私人密钥。

使用区块链技术对需要存储的工程矢量瓦片地图信息实施改码处理，处理后的信息变成十六进制字节，数据破解的难度变大。转码后信息如图2所示。

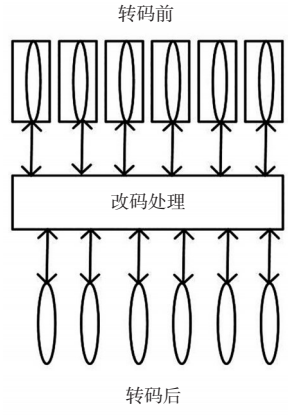


图2　区块链转码处理结果

如图2所示，在区块链技术中引入RSA加密算法，对工程矢量瓦片地图信息进行改码处理，可以实现访问权限的有效控制，避免出现恶意使用瓦片信息的情况，有效提升压缩数据的安全性，最终实现瓦片信息的有效储存。

2 实验分析

为了测试本研究模型的应用效果，在MATLAB平台中应用模型对某地区的工程矢量瓦片地图信息实施存储，为了避免实验偶然性，实验数据来源为MongoDB数据库管理系统。利用Apache JMeter模拟瓦片地图的读取过程，生成实验样本，应用pacheBench测试样本的响应时间，保证样本可用性。切片算法应用Web Mercator投影，256×256像素的正方形切片，切片级数为0~10级，切片文件大小为256~4 MB。

试验硬件设备参数为RAM: Corsair Vengeance LPX 16 GB 288-Pin DDR4 SDRAM DDR4 3200 Desktop Memory。硬盘：Samsung 970 EVO Plus NVMe SSD 500GB Solid State Drive。显卡：NVIDIA GeForce RTX 3070 8GB GDDR6 PCI Express 4.0 Graphics Card。操作系统：Windows 10 Pro 64-bit。利用上述硬件设备及软件系统开展相关实验。

2.1 瓦片格式存储效果分析

以PNG、JPG2种格式为例，测试模型在存储某地区工程矢量瓦片地图时，对2种格式信息的存储耗时。

结果表明PNG格式的工程矢量瓦片地图信息存储耗时比JPG格式的工程矢量瓦片地图信息存储耗时多，所以在模型应用前，可将工程矢量瓦片地图信息存储格式默认设置成JPG，优化存储效率。

2.2 并发进程对存储效率的影响

应用2.1节的数据库，利用同种测试工具，设置多个用户同时应用模型存储工程矢量瓦片地图信息，在此条件下，分析本文模型的存储效率。

结果表明工程矢量瓦片地图信息同时存储的进程数越多，模型存储耗时越短。当进程数为30时，本文模型的存储耗时稳定在350 ms不再变化，存储耗时较少。由此可知，并发进程对模型的存储效率不存在明显影响。

2.3 工程矢量瓦片地图信息存储的安全性测试

应用模型加密工程矢量瓦片地图信息，加密前、后效果如图3所示。

对比图3中加密前的地图信息与加密后的地图信息可知，模型在加密工程矢量瓦片地图信息后，地图信息被有效隐藏，地图信息特征完全被打乱，有效提升工程矢量瓦片地图信息安全性，加密效果较好。

2.4 工程矢量瓦片地图信息压缩效果测试

为了进一步验证本文模型的信息压缩效果，引入文献[4]、[5]进行工程矢量瓦片地图信息压缩，将压缩

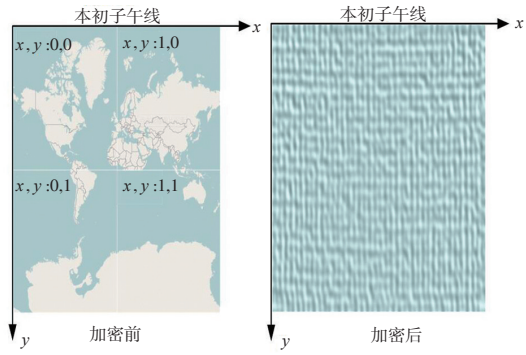


图3 工程矢量瓦片地图信息加密对比效果

后的存储耗能和存储空间结果进行对比，对比结果如图4、5所示。

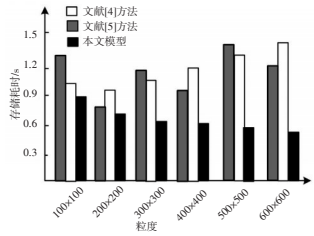


图4 存储时间的变化

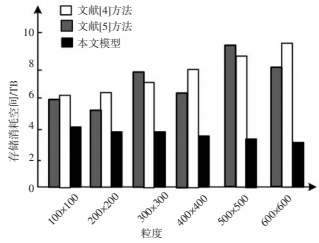


图5 存储消耗空间的变化

为了保障试验结果的针对性与准确性，假设在解压和解密过程中不存在对数据读取产生影响的情况。分析图4、5可知，利用模型在压缩工程矢量瓦片地图信息后，当存储粒度逐渐增大时，存储耗时与存储消耗空间均减小，存储耗时最大值为0.9 s，存储空间值均小于4 TB。而利用文献[4]、[5]压缩工程矢量瓦片地图信息后，工程矢量瓦片地图信息存储的存储耗时与存储消耗空间均存在明显的差异，数值变化呈不规律状态。由此可知，利用本文模型压缩工程矢量瓦片地图信息后，可有效避免压缩过程中出现过拟合状态，信息压缩效果较好。

3 结 论

构建了一种瓦片地图信息压缩与加密模型，为工程矢量瓦片地图存储提供新的处理模型。此模型在实验中主要得出以下几点结论：

1）模型在应用时，可将工程矢量瓦片地图信息存储格式默认设置成JPG，优化存储效率。

2）存储的工程矢量瓦片地图图像信息越多，本文模型的压缩强度越高，可以充分发挥压缩功能，实现工程矢量瓦片地图信息最优存储。

3）工程矢量瓦片地图信息同时存储的进程数越多，模型存储耗时越短，当进程数为30时，模型的存储耗时稳定在350 ms不再变化，存储耗时较少。

（下转第49页）