

# 基于数学形态学的二值文字水印信息稀疏表征方法

任娜<sup>1,2</sup>, 曹曲<sup>1,2</sup>, 朱长青<sup>1,2</sup>, 王志伟<sup>3</sup>

(1. 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)

(2. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 江苏 南京 210023)

(3. 中国人民解放军78710部队, 四川 成都 610504)

**[摘要]** 水印信息的最佳稀疏域是基于压缩感知理论的矢量数据水印算法研究的基础,也是解决小数据量矢量数据水印嵌入的关键所在. 本文提出了一种基于数学形态学的二值文字水印信息稀疏表征方法,分析了二值文字水印信息的特征,提出了基于数学形态学的水印信息稀疏表征方法,将原始的水印信息有效地进行了稀疏表达,并对提出的稀疏表达方法进行了实验验证. 结果表明,该方法能够较好地对二值文字水印信息进行稀疏表达,有效提高了水印信息的压缩比,可以去除无关水印判读的冗余信息,为满足基于压缩感知理论水印算法的研究提供了好的理论基础.

**[关键词]** 数学形态学, 二值水印, 压缩感知, 稀疏

**[中图分类号]** P237.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2015)03-0040-05

## The Sparse Method of Binary Text Watermark Information Based on Mathematical Morphology

Ren Na<sup>1,2</sup>, Cao Qu<sup>1,2</sup>, Zhu Changqing<sup>1,2</sup>, Wang Zhiwei<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(2. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China)

(3. 78710 PLA Troops, Chengdu 610504, China)

**Abstract:** The optimized sparse domain of watermarking information is the foundation of studying watermarking algorithm for vector geographic data based on compression sensing theory, and it is also the key to solve the challenge to embed the watermarks into small data. A sparse representation based on mathematical ecology is proposed for binary-character watermarking information. Firstly, the features of the binary-character watermarking information are analyzed. Then, the sparse representation based on mathematical ecology is proposed, and it is used for the original watermarking information. Finally, the experimental verification is given for the proposed sparse representation. The results show that the method can embed the binary-character watermarking information in a sparse way, increase the compression ratio for watermarking information effectively, and remove the redundant information unrelated with identification of watermarking. Therefore, the proposed method provides a good theoretical foundation for research of watermarking algorithm based on compression sensing theory.

**Key words:** mathematical morphology, binary watermark, compression sensing, sparse

压缩感知是一种新兴的信号采样理论,是传统信息论的一个延伸,避开对原始信号的直接采样,用远少于原始信号长度的观测次数来采样信号,打破了香农定理对信号采样的限制<sup>[1-3]</sup>. 目前,压缩感知(Compression Sensing, CS)理论得到了迅猛的发展和运用,被视为信息处理技术的一场革命性突破,已在图像处理、信号检测、无线通道图像传输、测绘和GIS等领域得到迅速应用,在信息安全领域也得到成功应用.

收稿日期: 2015-02-05.

基金项目: 国家自然科学基金(41301413)、江苏省自然科学基金(BK20130903).

通讯联系人: 任娜, 博士, 讲师, 研究方向: 地理数据安全. E-mail: renna1026@163.com

在信息安全领域,Kumar等人将CS理论用于图像加密,证明了CS理论用于信息加密的安全性<sup>[4,5]</sup>.在基于CS理论的数字水印研究方面,Xu等人将CS压缩后的声音信号作为水印信息嵌入到载体数据中<sup>[6]</sup>.Valenzise G等人将CS理论应用于图像水印中,实现了图像篡改的识别与定位<sup>[7]</sup>.赵春晖等人提出了基于分块CS的图像脆弱零水印算法<sup>[8]</sup>.周燕等人将CS理论应用于视频水印中,实现了视频流的完整性认证<sup>[9]</sup>.在信息安全领域,特别是数字水印方面的研究,充分证明了CS巨大的应用潜力,也为基于CS理论的矢量地理数据水印研究提供了良好的参考价值和借鉴作用.

上述研究显示了CS理论具有强大的生命力、巨大的应用潜力和极其广阔的应用前景.CS理论对原始的水印信息进行度量,相当于将信号由高维空间映射到低维空间.因此,原始水印信息通过CS获得的观测值不仅可包含原水印携带的所有信息,而且可简洁而全面地表征原始水印信息的全部特征,从而有效地扩展水印信息容量.经过CS压缩后的水印信息能适应小数据量的矢量地理数据,从根本上改变扩展水印信息容量与抗攻击性和精度之间的矛盾,能解决目前小数据量数据水印嵌入难这一瓶颈问题.

由以上对压缩感知理论的介绍中可以得知,信号能否进行压缩感知的前提是信号的稀疏性.通过合理的稀疏变换,尽量减少非零元的个数,即提高信号的稀疏度,可以在很大程度上提高信号的重构精度.水印信息的最佳稀疏域是基于CS理论的水印算法研究的基础,也是解决小数据量矢量地理数据水印嵌入的关键所在.因此,本文将对矢量地理数据的二值文字水印信息进行分析,探讨CS技术在矢量地理数据水印信息生成中的适用性,并根据其特征,构建与之相适应的矢量地理数据水印信息稀疏表征方式,从而为矢量地理数据水印信息的压缩感知提供研究基础.

## 1 二值文字水印信息的特征及压缩可行性分析

如图1所示,二值文字水印信息通常是栅格化的有意义字符,常见的表现形式如ID序列号、文本文件或消息等.

对于二值文字水印信息常见的处理方式是,按照从左到右、从上到下对水印信息进行行列方式扫描,亮度为白色时取值为0,黑色时取值为1.一般来说,以图1为例,二值文字水印信息具有以下特征:

(1)水印图像中存在大量的空白区域,像素值均为0,冗余空间很大,如图像四周的空白、字符之间的空白等;

(2)黑色的像素值所占比重较小,但却分布于二值文字水印的各个区域;

(3)二值文字水印信息不像灰度图具有渐变性,其像素值非黑即白,只有这两种情况.因此,水印信息的边缘像素值跳变频率很高;

(4)水印信息中的某些像素存在一定的关联性,比如:栅格化的有意义字符,在某一个笔画的刻画上,由笔画的一部分像素就必然暗示了该笔画整体走向;

(5)水印信息的大小与一般的图像相比要小得多;

(6)文字有意义水印信息比无意义水印信息的长度要长,且矢量地理数据的数据量相对于其他形式的载体来说较小.因此,需要研究在保证有意义水印信息的精确性的情况下,嵌入尽量少的比特流,从而加强水印的不可感知性和保证矢量数据的精度.

二值文字水印信息进行压缩感知的前提,是要满足信号稀疏化的条件.由此可见,二值文字水印信息的稀疏表达需要依据其独有的特征进行研究.

## 2 基于数学形态学的二值文字水印信息稀疏表征方法

由对二值文字水印信息的分析可知,二值文字水印信息不同于一般的可压缩信号,其具有大量的冗余信息,可将其进一步剔除.一方面,二值文字水印信息中相邻的黑色像素表示的是文字的笔划特征,相关性很强,这些相邻的黑色像素如果过多,即信号不够稀疏,就对水印信息重构效果有不好的影响;另一方面,二值文字水印信息中的白色像素表示的是文字之间的空白,如果空白足够大,即加大字符的间距,会更有利于水印信息的稀疏,避免重构过程中的损失.



图1 二值文字水印信息

Fig.1 Binary text watermark information

利用数学形态学,可有效剔除冗余信息,同时能保留原有的有用信息,突出字符的特征,这样既可保证水印信息的良好判读,又提高了水印信息的嵌入量. 本文建立了基于数学形态学的二值文字水印信息稀疏表征.

设  $A$  为图像集合,  $B$  为结构元素,数学形态学运算是用  $B$  对  $A$  进行操作. 膨胀和腐蚀是数学形态学的两个基本操作,膨胀是实现边界扩张的运算,腐蚀是实现边界向内部收缩的过程. 其数学定义为:

$$\text{膨胀: } A \oplus B = \{x: B(x) \cap A \neq \emptyset\};$$

$$\text{腐蚀: } A \otimes B = \{x: B(x) \subset A\}.$$

膨胀和腐蚀运算是互逆运算,但并不互为逆运算. 先腐蚀后膨胀的过程称之为开运算,具有消除细小物体,可以在纤细处分离、平滑较大边界的作用;先膨胀后腐蚀的过程称之为闭运算,具有填充物体内部细小空洞、连接临近物体和平滑边界的作用.

对本文中所示的二值文字水印信息分别进行膨胀和腐蚀操作,其运算结果如图2所示.



图2 对字符图像腐蚀膨胀后的效果图

Fig.2 Renderings of character images after expansion

由以上的实验可以得出:对二值文字水印信息进行膨胀或腐蚀运算之后,文字中的笔画之间的空白的被填满,有的笔画部分缺失,总之,文字的笔画特征被破坏.

通过对以上两种运算的组合,可实现一系列实用算法,用以对二值图像进行噪声消除、目标检测、细化、边缘提取等操作. 但是,采用不同的结构元素对同一个图像集合进行运算,所得出的结果是不一样的. 由于字符的基本单元是笔划,因而使用某一个单一的结构元素进行简单的细化、抽取骨架操作,并不能提取出水印信息的各种笔划特征.

对二值文字水印信息骨架进行抽取和细化操作,其运算结果如图3所示. 这两种操作均易产生笔划的变形、粘连等结果,不能体现原始字符的笔划特征,影响了字符的人眼辨别度,并不符合水印判读的要求.

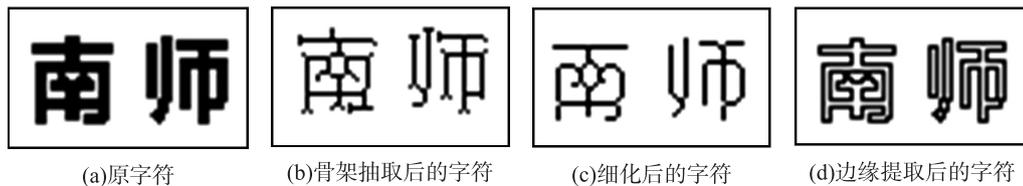


图3 对字符图像进行组合运算后的效果图

Fig.3 Renderings of the character images after combining operation

而由于文字水印信息具有一定的宽度,通过分析,可以采用二值文字水印信息中的笔划边缘信息. 所采取的边缘提取规则如下:

将集合  $A$  的边界记录表示为  $\beta(A)$ , 通过一个结构元素  $B$  来腐蚀  $A$ , 再求取腐蚀结果和  $A$  的差集即可得到  $\beta(A)$ . 边界提取的过程可用公式表示为:

$$\beta(A) = A - A \otimes B, B = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

式中,  $B$  为  $3 \times 3$  的8-连通算子,检测8个方向的像素点,得到的边界是8-连通的.

常用的连通算子按照中心像素点邻接方向个数的不同,分为4连通算子和8连通算子. 4连通算子的邻接点有4个,分别在中心点的上、下、左和右. 8连通算子比4连通算子增加了4个斜方向,任意一个像素周围均有8个邻接点. 8连通算子正好与像素点的实际情况相符,能够准确地描述中心像素点与其邻接点的信息. 因此,此处选择采用8连通算子.

### 3 实验与分析

本节实验所使用的实验数据为本文中图1所示的二值文字水印信息.图4所示为二值水印信息中随机抽取的稀疏性较差的3个行向量(即非零值较多的行向量),及其在进行边缘提取之后的图形比较.将图1中的稀疏比进行数学统计,对水印信息做稀疏操作前后的压缩比如表1所示.

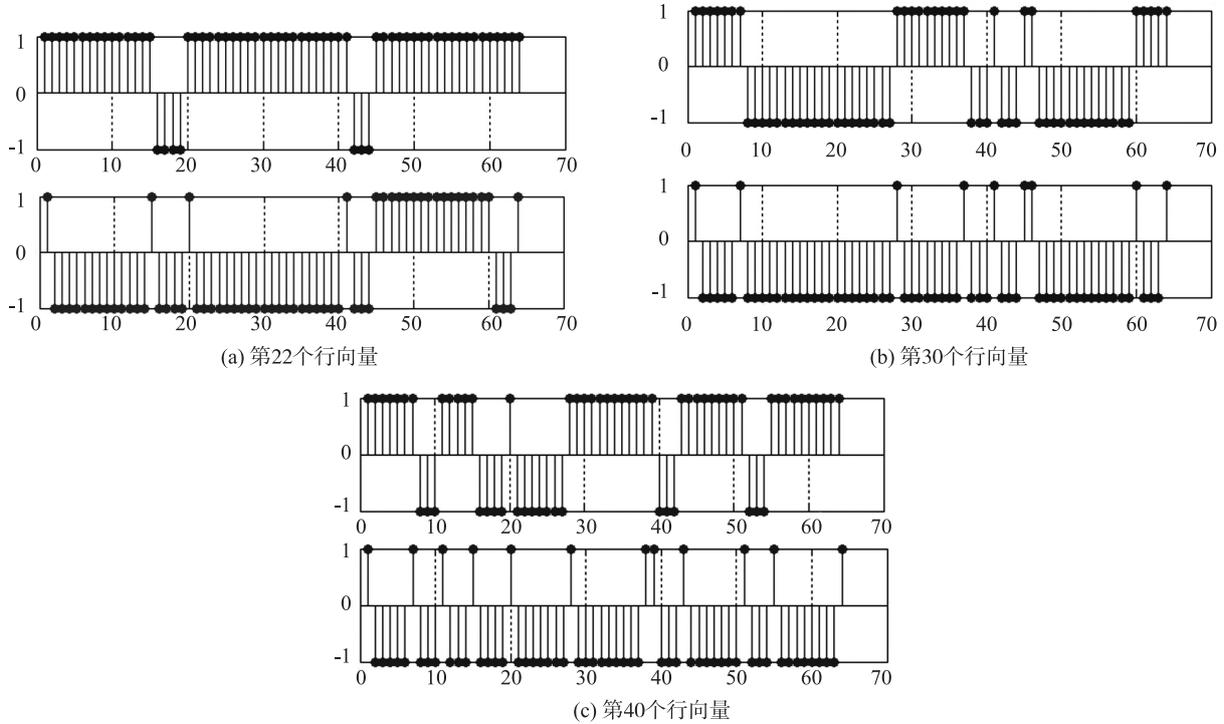


图4 水印信息的行向量变化图

Fig.4 Row vector changes of watermark information

通过表1可直观看出,本文所使用的稀疏方法对二值文字水印信息的稀疏程度较大,从64个行向量中随机抽取的3个行向量的压缩比均低于50%,即修改后的行向量极大地去除了无关水印判读的冗余信号,且满足了稀疏信号的要求.因而利用数学形态学进行水印信息的稀疏是可行的.

表1 稀疏操作后的压缩比

Table 1 Compression ratio after sparsing operation

行向量	原水印信息的“1”值	稀疏操作后的“1”值	压缩比
22	54	20	0.44
30	25	9	0.36
40	44	12	0.27

### 4 结论

本文针对二值文字水印信息的特征,将数学形态学运用到二值文字水印信息的稀疏表征中,提出了基于数学形态学的二值文字水印信息稀疏方法.实验证明,该方法对二值文字水印信息的稀疏是切实可行的.该方法能够较好地对二值文字水印信息进行稀疏表达,有效提高了水印信息的压缩比,可以去除无关水印判读的冗余信息.本文研究的水印信息稀疏表达是基于压缩感知研究小数据量矢量地理数据水印的基础和关键技术,将为后续测量矩阵的构建和水印信息的重建提供良好的理论基础.

#### [参考文献](References)

- [1] Donoho L D. Compressed sensing[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2006, 52(4): 1 289-1 306.
- [2] Candes E. Compressive sampling [C]//Proceedings of the International Congress of Mathematicians. Madrid, Spain, 2006: 1 433 - 1 452.
- [3] Candes E, Romberg J, Tao T. Robust uncertainty principles: exact signal reconstruction from highly incomplete frequency information[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2006, 52(2): 489-509.

- [4] Kumar A A, Makur A. Lossy compression of encrypted image by compressive sensing technique [C]//2009 IEEE Region 10 Conference. Singapore, 2009: 1-5.
- [5] Zhang X, Ren Y, Feng G, et al. Compressing encrypted image using compressive sensing [C]//International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing. Dalian, 2011: 222-225.
- [6] Xu T, Zhen Y, Shao X. Novel speech secure communication system based on information hiding and compressed sensing [C]//International Conference on Systems and Networks Communications. Porto, Portugal, 2009: 201-206.
- [7] Valenzise G, Tagliasacchi M, Tubaro S, et al. A compressive-sensing based watermarking scheme for sparse image tampering identification [C]//IEEE International Conference on Image Processing. Cairo, Egypt, 2009: 1 265-1 268.
- [8] 赵春晖, 刘巍. 基于分块压缩感知的图像半脆弱零水印算法[J]. 自动化学报, 2012, 38(4): 609-617.  
Zhao Chunhui, Liu Wei. Block compressive sensing based image semi-fragile zero-watermarking algorithm [J]. ACTA Automatica Sinica, 2012, 38(4): 609-617.
- [9] 周燕, 曾凡智. 基于压缩传感的视频水印算法[J]. 计算机应用, 2011, 31(6): 1 508-1 511.  
Zhou Yan, Zeng Fanzhi. Video watermarking algorithm based on compressive sensing [J]. Journal of Computer Applications, 2011, 31(6): 1 508-1 511.

[责任编辑: 严海琳]

(上接第34页)

- Zhou Li, Zhao Feng, Ma Yongtao, et al. Analysis of the training program of the standing long jump [J]. Journal of Nanjing Institute of Physical Education: Natural Science, 2003, 2(3): 84-86. (in Chinese)
- [2] 叶玉堂, 刘爽, 等. 红外与微光技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.  
Ye Yutang, Liu Shuang, et al. Infrared and Low Light Level Technology [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2010. (in Chinese)
- [3] 陈永甫. 红外辐射红外器件与典型应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.  
Chen Yongfu. Infrared Detection and Control Circuit [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004. (in Chinese)
- [4] 周宇, 徐寅林, 李杰. ELISA测定中的定位检测及实时状态显示装置 [J]. 自动化仪表, 2009, 30(5): 73-75.  
Zhou Yu, Xu Yinlin, Li Jie. Positioning detection and real-time display device used in ELISA tests [J]. Process Automation Instrumentation, 2009, 30(5): 73-75. (in Chinese)
- [5] 贾伯年, 俞朴, 宋爱国. 传感器技术 [M]. 南京: 东南大学出版社, 1992.  
Jia Bonian, Yu Pu, Song Aiguo. Transducer Technology [M]. Nanjing: Southeast University Press, 1992. (in Chinese)
- [6] 凌秀泽, 孔逸敏, 徐寅林. 窄脉冲调理及光路同步识别的安全光幕电路 [J]. 自动化仪表, 2012, 33(10): 46-48.  
Ling Xiuzze, Kong Yimin, Xu Yinlin. Safety light circuitry circuitry based on narrow pulse conditioning and optical path synchronous identifications [J]. Process Automation Instrumentation, 2012, 33(10): 46-48. (in Chinese)

[责任编辑: 陈 庆]