



# 基于多时相 DOM 的线性文化遗产自动化监测

王建辉<sup>1</sup> 程宝银<sup>1</sup> 吕志才<sup>1</sup>

1 苏州市测绘院有限责任公司,江苏 苏州,215000

**摘要:**提出一种将遥感技术应用到线性文化遗产的自动化监测方法,即基于多时相数字正射影像图(digital orthophoto map,DOM),运用多波段差值法以及面向对象分类监测方法,对线性文化遗产(以苏州宝带桥段遗产保护区为例)进行了自动化监测研究。实验结果表明,两种方法均可用于线性文化遗产自动化监测,但面向对象的分类监测法对连续的、大面积的地物变化更有效,多波段差值法对离散的地物变化更加敏感。该研究为我国线性文化遗产自动化监测与保护提供了思路,具有一定的推广价值。

**关键词:**线性文化遗产;自动化监测;多时相 DOM;多波段差值法;面向对象分类

中图分类号:P237

文献标志码:A

遥感对地观测技术具有范围大、时间长和周期性监测的优势,利用多时相遥感影像进行生态环境变化监测、自然灾害救治、跟踪城市发展、地理空间数据更新以及研究人类与自然环境之间的交互关系有着重要的意义<sup>[1-2]</sup>。

目前,利用遥感影像进行遗产变化监测是研究热点,遥感影像变化监测是指利用不同时期覆盖同一地表区域的遥感影像及相关的地理数据,结合地物特性、成像机理、图像图形处理理论及数理模型方法,确定和分析地物的变化,包括地物位置、范围变化和地物性质状态的变化<sup>[3-6]</sup>。从中低分辨率影像变化监测、高光谱影像变化监测到高分辨率影像变化监测,国内外学者从变化监测方法和理论模型等多方面进行了广泛而深入的研究<sup>[2-4,7]</sup>,但涉及线性文化遗产变化监测与提取的内容相对较少。本文借鉴众多研究成果,将遥感技术手段应用到线性文化遗产的变化监测与提取工作中,力求为我国线性文化遗产的自动化监测和保护工作起到一定的借鉴作用。

本文通过被动式遥感技术手段,基于多时相数字正射影像图(digital orthophoto map,DOM),运用多波段差值法以及面向对象分类监测法对苏州宝带桥段遗产保护区进行植被、水体、道路以及建筑4类监测对象的自动化监测作业,为线性文化遗产的保护、利用和规划提供数据支持。

## 1 研究方法

本文基于多时相 DOM 影像,运用多波段差值法和面向对象分类监测方法对大运河线性文化遗产中的宝带桥段遗产保护区进行变化信息的监测、提取,技术路线图如图 1 所示。

### 1.1 影像预处理

本文采用飞马 F1000 智能航测系统获取大运河(苏州段)序列影像进行相应的数据生产,并选取宝带桥段遗产保护区的 DOM 影像进行测试。原始无人机序列影像受拍摄角度、太阳光照射角度、大气环境、地形起伏等因素的影响,存在一定的几何位置偏差和辐射误差,本文对序列影像进行了相对辐射校正、影像配准等数据预处理(具体见图 1 影像预处理部分),以保证序列影像的质量。

### 1.2 基于多波段的差值法

差值法的基本原理是将预处理后的多时相影像灰度值或纹理特征值逐像素作差,得到相应的差值影像<sup>[8]</sup>,用差值影像的特征值表示地物的变化程度,值越大,地物的变化越大,反之亦然。为综合利用多个波段信息,本文在生成差值影像的过程中,首先对影像内的目标进行分割(采用自适

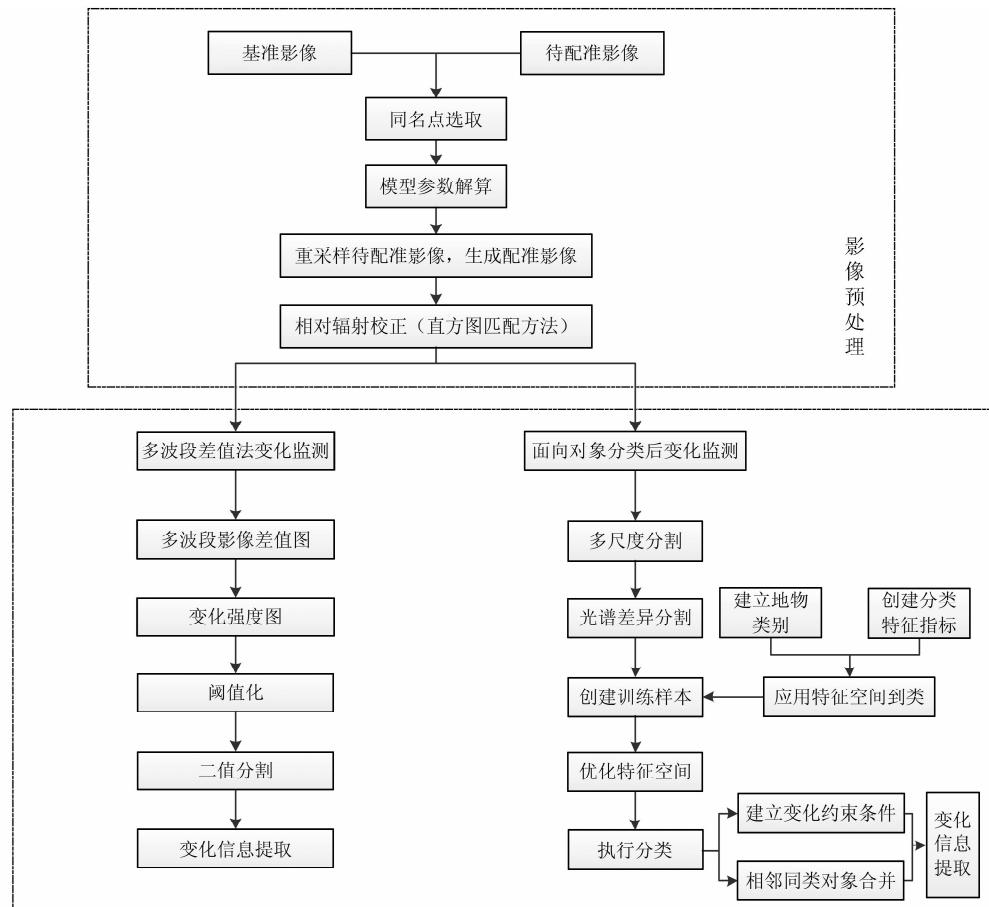


图1 技术路线图

Fig. 1 Technology Roadmap

应阈值<sup>[8]</sup>),不直接对原图像进行差值法分析检测,以减少影像配准误差的影响;然后对R、G、B3个波段分别作差;最后将3个差值影像融合成单波段的强度图,并以强度图表示变化的程度。单波段差值计算式为:

$$D_{ij}^k = |X_{ij}^k(t_2) - X_{ij}^k(t_1)| \quad (1)$$

式中,  $D_{ij}^k$  是第  $k$  个波段的差值影像特征值;  $X_{ij}^k(t_2)$  与  $X_{ij}^k(t_1)$  是两时相影像中像元  $(i, j)$  在第  $k$  个波段的灰度值。

在得到3个波段的差值影像后,通过式(2)将其融合成强度影像:

$$C = \sqrt{\sum (D_{ij}^1)^2 + \sum (D_{ij}^2)^2 + \sum (D_{ij}^3)^2} \quad (2)$$

式中,  $C$  是得到的强度影像;  $\sum (D_{ij}^1)^2$ 、 $\sum (D_{ij}^2)^2$ 、 $\sum (D_{ij}^3)^2$  分别是求3个波段差值影像特征值的平方和。在得到强度图后,通过选择合适的阈值,以突出变化部分,公式如下:

$$B(x) = \begin{cases} 1, & C > T \\ 0, & C \leq T \end{cases} \quad (3)$$

式中,  $B(x)$  为强度图二值化的结果;  $T$  为预先设

定的阈值。

### 1.3 面向对象的分类监测方法

面向对象的分类监测方法是指先对预处理后的多时相影像进行地物分类,再根据分类结果进行变化信息的监测与提取。首先对影像进行分割,影像分割的精度直接影响地物分类的精度,继而影响遗产区及缓冲区的变化监测成果。本文引入一种自上而下的分割算法——面向对象的多尺度分割方法,对多时相影像进行变化信息的提取与监测。与传统聚类法、目标函数法、均值法等分割方法不同<sup>[9-10]</sup>,该方法是基于区域合并技术,综合考虑不同尺度地物的呈现状态,融入影像的纹理、颜色、形状以及光谱等信息,通过不断地迭代实现分割斑块的合并。即通过影像分割实现分割斑块内的同质性最大、斑块间的异质性最大的目标。

分割对象内部同质性、相邻对象的异质性由光谱异质性变化因子  $f_{\text{spectrum}}$  和形状异质变化因子  $f_{\text{shape}}$  决定,其中,  $f_{\text{shape}}$  由紧致因子  $f_{\text{compact}}$  和平滑因子  $f_{\text{smooth}}$  构成<sup>[11]</sup>。计算式为:

$$f_{\text{spectrum}} =$$

$$\sum_i w_i ((n_{\text{merge}} \cdot \sigma_i^{\text{merge}}) - (n_{\text{obj1}} \cdot \sigma_i^{\text{obj1}} + n_{\text{obj2}} \cdot \sigma_i^{\text{obj2}})) \quad (4)$$

$$f_{\text{shape}} = w_{\text{compact}} \cdot f_{\text{compact}} + (1 - w_{\text{compact}}) f_{\text{smooth}} \quad (5)$$

$$f_{\text{compact}} = n_{\text{merge}} \cdot \frac{l_{\text{merge}}}{\sqrt{n_{\text{merge}}}} - \left( n_{\text{obj1}} \cdot \frac{l_{\text{obj1}}}{\sqrt{n_{\text{obj1}}}} + n_{\text{obj2}} \cdot \frac{l_{\text{obj2}}}{\sqrt{n_{\text{obj2}}}} \right) \quad (6)$$

$$f_{\text{smooth}} = n_{\text{merge}} \cdot \frac{l_{\text{merge}}}{c_{\text{merge}}} - \left( n_{\text{obj1}} \cdot \frac{l_{\text{obj1}}}{c_{\text{obj1}}} + n_{\text{obj2}} \cdot \frac{l_{\text{obj2}}}{c_{\text{obj2}}} \right) \quad (7)$$

式中,  $i$  是影像波段数;  $\text{obj1}$  和  $\text{obj2}$  是两个相邻的对象;  $\text{merge}$  是两对象合并后的新对象;  $n$  表示对象所包含的像素数;  $\sigma$  是相应的标准差;  $w$  是权重值;  $l$  是对象的边界长度;  $c$  是对象的外界矩形周长。

由式(4)至式(7)即可得到两相邻对象是否进行合并的计算式:

$$F = w \cdot f_{\text{shape}} + (1 - w) f_{\text{spectrum}} \quad (8)$$

式中,  $F$  的值由  $f_{\text{spectrum}}$  和  $f_{\text{shape}}$  共同决定。当  $F$  值远小于给定的尺度参数时, 即进行两相邻对象的合并。

## 2 实验结果与分析

综合运用基于多波段的差值法和面向对象的分类监测方法, 对大运河(苏州段)线性文化遗产中的宝带桥段(见图 2)遗产区及缓冲区进行变化信息的监测与提取, 并对相应数据进行分析。



图 2 宝带桥

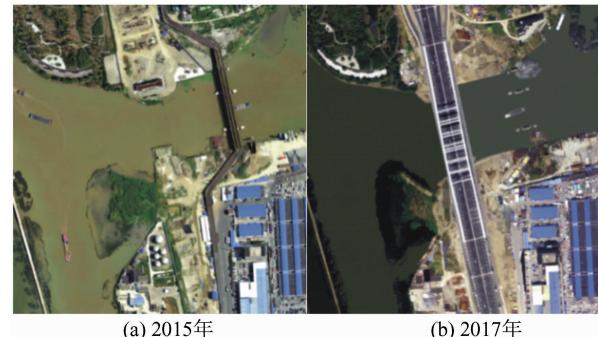
Fig. 2 Precious Belt Bridge

### 2.1 实验区域及实验数据

大运河是世界建造时间最早、使用最久、时间跨度最大的人工运河, 于 2014 年入选世界文化遗产名录。按照世界文化遗产后申遗时代的保护要求及现阶段的大运河遗产的保护需求<sup>[12]</sup>, 亟需对大运河遗产进行周期性变化监测与提取工作。本文选取大运河(苏州段)遗产中的宝带桥段遗产保

护区作为研究对象, 对其遗产保护区及缓冲区进行多时相 DOM 变化监测与提取。

选取宝带桥段遗产保护区 2015—2017 年的 DOM 数据(成像范围 500 m × 500 m, 分辨率为 0.1 m)进行变化监测及提取处理与分析, 影像包含 R、G、B 3 个波段, 选取的影像数据如图 3 所示。



(a) 2015 年

(b) 2017 年

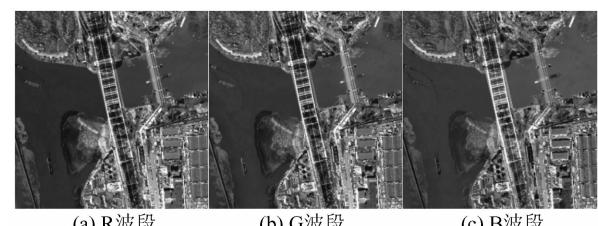
图 3 多时相 DOM 影像图

Fig. 3 Multi-temporal DOM Images

### 2.2 变化监测及提取结果与分析

#### 2.2.1 差值法变化监测及提取

首次对预处理后的影像进行目标分割, 继而获取影像 3 个波段的差值图, 如图 4 所示。



(a) R 波段

(b) G 波段

(c) B 波段

图 4 差值影像图

Fig. 4 Difference Images

得到 3 个波段的差值影像后, 利用式(2)将 3 个波段融合成一个强度图, 如图 5 所示, 灰度值越高, 表示变化程度越大。根据生成的强度图以及两时相的 DOM 影像, 选择合适的阈值提取变化监测结果, 得到的变化信息提取结果如图 6 所示。

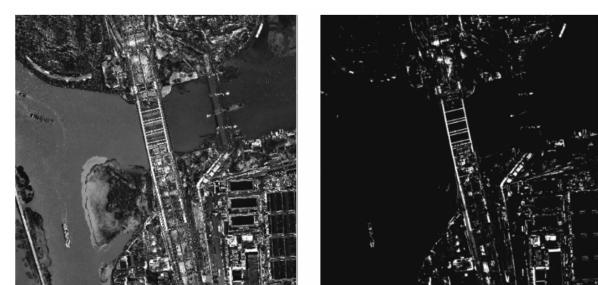


图 5 强度影像图

Fig. 5 Intensity Image

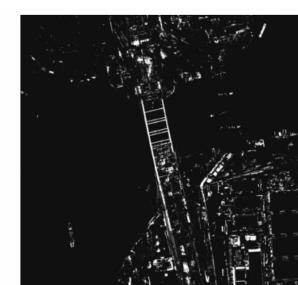


图 6 差值法变化监测结果

Fig. 6 Result of Difference Change Detection

### 2.2.2 面向对象的分类监测与提取

运用多尺度分割技术首先对2015年、2017年的DOM影像进行分割,尺度值设置太小会造成分割不够,设置过大又会造成分割过度,本文经过多次实验,确定最优分割尺度为180,分割结果见图7。

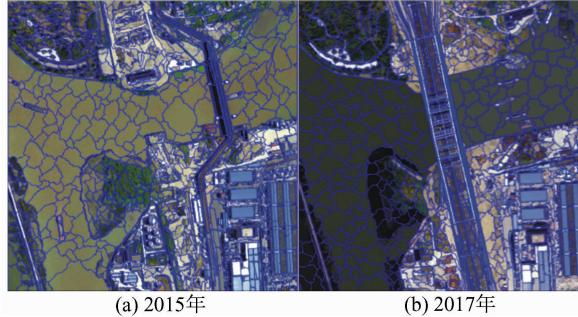


图7 多尺度分割结果图

Fig. 7 Results of Multi-scale Segmentation

由图7可知,初次分割后,图像存在分割过度现象。本文在一次分割的基础上引入光谱差异分割,最大光谱差异值设置为15,优化分割后的成果如图8所示。由图8可以看出,同质性的分割斑块进行了有效合并,分割斑块的外边界与实际监测对象吻合度很高。

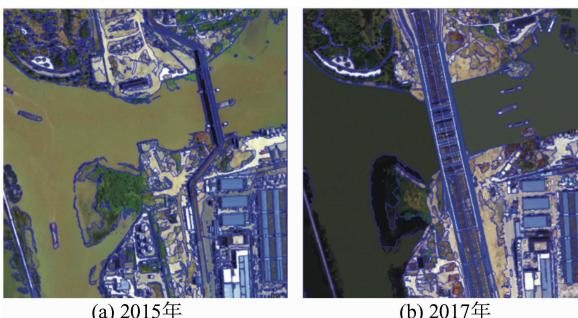


图8 光谱差异分割结果图

Fig. 8 Results of Spectral Difference Segmentation

分割完成后,分别为两个时相的影像选择一些特征作为分类依据,实验中选取了Brightness、Shape Index、Length/Width等14个分类特征,然后建立地物类别,将地物分为植被、水体、道路以及建筑4大类,并将建立的影像分类特征应用到类,然后分别进行每一类别训练样本的选取,选取的样本数量要分布均匀、密度合理。所有样本选择完成后,进行特征空间的优化,通过特征空间优化计算出不同特征的贡献度,从而找出最有利于分类的最佳特征空间组合,当各个类别之间距离达到最大时,即是最佳特征空间组合。

不同地物类别分割距离图如图9所示。由图9可知,当利用特征空间维度达到13时,分割

距离最大;当地物类别之间的距离在1.8以上时,可以实现不同地物的有效区分。两时相的分类结果图如图10所示。

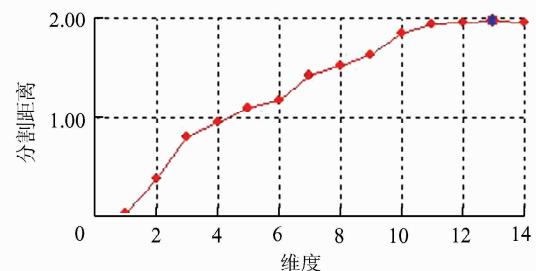
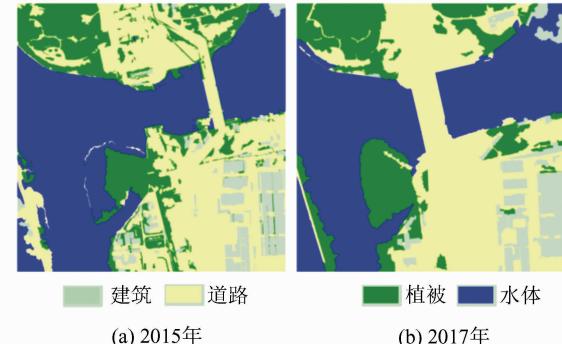


图9 不同地物类别分割距离图

Fig. 9 Separation Distance Map of Difference Types of Objects



(a) 2015年

(b) 2017年

图10 面向对象分类结果图

Fig. 10 Results of Object-Oriented Classification

得到分类影像后,为了进行变化信息的提取,首先需要将两时相分类影像中的目标边界互相切割,以获得两时相影像上的异同部分;然后为每一个地物类别建立变化与否的约束条件,即可得到每一类别的变化信息影像。将4类地物的变化信息叠加在一起,结果如图11所示,其中红色代表减少的变化,蓝色代表增加的变化。

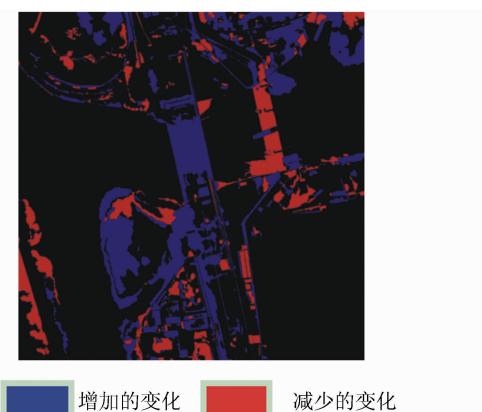


图11 分类后变化监测结果图

Fig. 11 Test Changes Results After Classification

### 2.2.3 结果分析

从多波段的差值法变化监测结果以及面向对象的分类监测结果并结合获取的原始影像可知, 虽然存在部分的错检、漏检现象, 但是绝大部分的变化区域都可以有效的监测。由图 12(a)可知, 两时相影像的变化集中在 2017 年影像中新建了一

一座桥; 由图 12(b)可知, 两时相影像的变化集中在 2017 年影像中拆除了一座桥。综合分析可知, 两种方法均能检测出桥梁增加的状况, 但差值法无法有效监测变化图斑较小的区域。因此, 相对连续的、大面积的地物变化, 面向对象的分类监测法优于差值法。

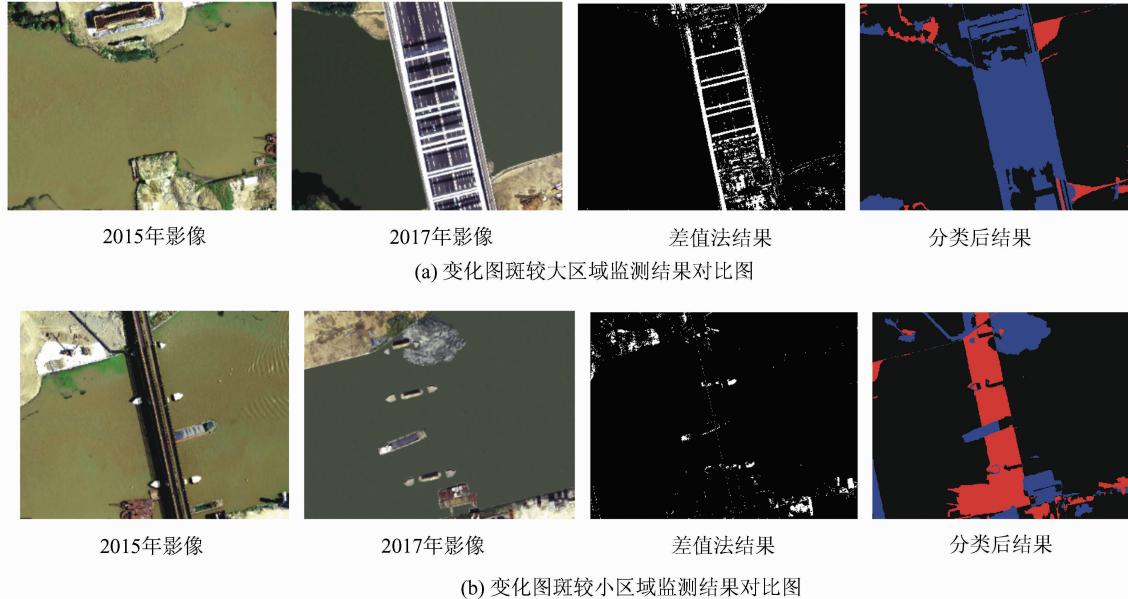


图 12 相对连续的、大面积的地物变化监测结果对比图

Fig. 12 Comparison of Relatively Continuous, Large-Area Feature Change Detection

为验证两种方法对离散地物变化监测的适用性, 本文选取了两处离散地物变化区域的影像, 影像及监测结果如图 13 所示。由图 13 可知, 对于车辆、船只等离散地物变化, 面向对象的分类监测方法不能有效地进行监测, 依据 4 类地

物的划分, 地面的车辆被分到了道路, 水中的船只被识别成了水体。然而, 差值法能够有效地监测出车辆和船只的变化信息, 边界也十分清晰, 因此对于离散的地物变化, 差值法能更好地反映细节的变化。

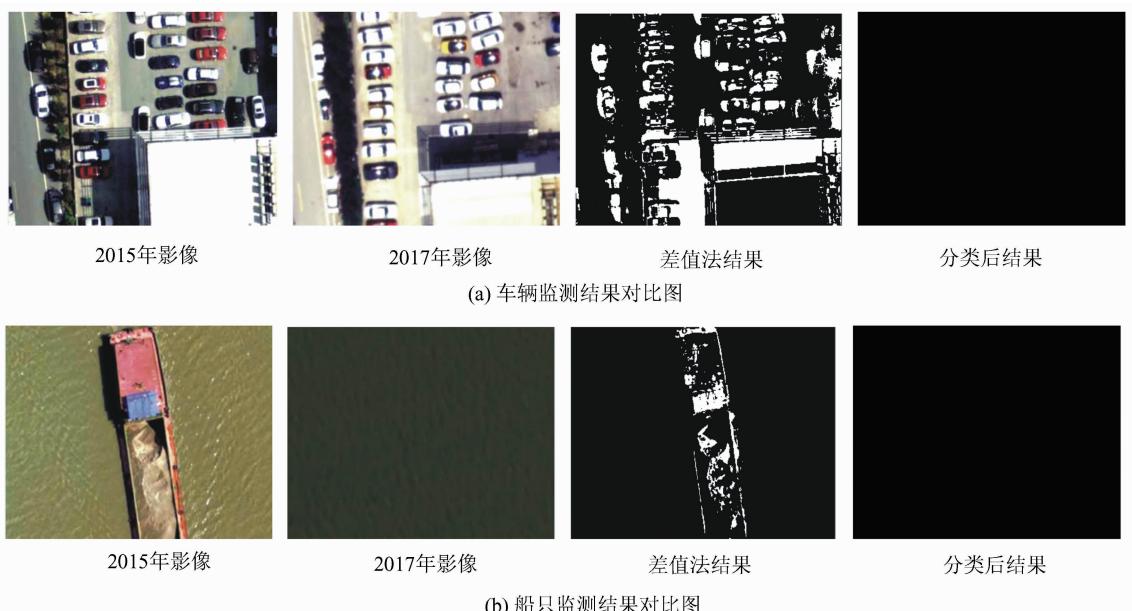


图 13 离散的地物变化部分监测结果对比图

Fig. 13 Comparison of Discrete Features Change Detection

### 3 结语

本文基于多时相的DOM影像,分别利用多波段差值法以及面向对象的分类监测方法,对大运河宝带桥段遗产保护区进行了自动化变化监测研究,验证了高分辨率的DOM影像在线性文化遗产自动化监测的可行性,并对比分析了两种方法的适用性。结果表明,两种方法都可满足线性文化遗产动态变化监测的需求,而且对于连续的、大面积的地物变化监测,面向对象的分类监测方法更有效,而多波段差值法能更有效地监测地物变化的细节,更适用于离散的地物类别变化监测,在应用时,可将两种方法相结合来使用。

综上所述,通过大运河宝带桥段遗产保护区的变化监测研究证明,基于多时相DOM的线性文化遗产变化监测方法高效可行,可为我国线性文化遗产的自动化监测与保护提供思路。

### 参考文献

- [1] Brozzone L, Prieto D F. Automatic Analysis of the Difference Image for Unsupervised Change Detection[J]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 2000, 38(3): 1 171-1 182
- [2] Zhang Liangpei, Wu Chen. Advanced and Future Development of Change Detection for Multi-temporal Remote Sensing Imagery[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2017, 46(10): 1 447-1 459 (张良培, 武辰. 多时相遥感影像变化监测的现状与展望[J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 1 447-1 459)
- [3] Yin Shoujing, Wu Chuanqing, Wang Qiao, et al. Review of Change Detection Methods Using Multi-Temporal Remotely Sensed Images[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2013, 33 (12): 3 339-3 342 (殷守敬, 吴传庆, 王桥, 等. 多时相遥感影像变化监测方法研究进展综述[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(12): 3 339-3 342)
- [4] Sun Yue, Wang Hongqi, Li Feng, et al. Elastic Registration of Remote Sensing Image for Change Detection[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(1): 53-59 (孙越, 王宏琦, 李峰, 等. 面向变化检测的遥感影像弹性配准方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(1): 53-59)
- [5] Tong Guofeng, Li Yong, Ding Weili, et al. Review of Remote Sensing Image Change Detection[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2015, 20 (12): 1 561-1 571 (佟国峰, 李勇, 丁伟利, 等. 遥感影像变化监测算法综述[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20 (12): 1 561-1 571)
- [6] Sun Xiaoxia, Zhang Jixian, Yan Qin, et al. A Summary on Current Techniques and Prospects of Remote Sensing Change Detection[J]. *Remote Sensing Information*, 2011, 26 (1): 119-123 (孙晓霞, 张继贤, 燕琴, 等. 遥感影像变化监测方法综述及展望[J]. 遥感信息, 2011, 26(1): 119-123)
- [7] Zhang Yongmei, Li Lipeng, Jiang Ming, et al. Change Detection Method for Buildings Based on Pixel-Level and Feature-Level[J]. *Computer Science*, 2013, 40(1): 286-293 (张永梅, 李立鹏, 姜明, 等. 综合像素级和特征级的建筑物变化检测方法[J]. 计算机科学, 2013, 40(1): 286-293)
- [8] Zhang Yiming. Research on Change Detection Based on Unmanned Aerial Vehicles Serial Images[D]. Zhengzhou: Information Engineering University, 2008 (张一鸣. 基于无人机序列图像的变化监测技术研究[D]. 郑州: 信息工程大学, 2008)
- [9] Xu Yaming, Shi Juan, An Dongdong. Change Detection Based on Segmentation and Matched Features Point for UAV Images[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2016, 41(10): 1 286-1 291 (徐亚明, 石娟, 安动动. 利用影像分割和匹配特征进行无人机影像变化检测[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2016, 41(10): 1 286-1 291)
- [10] Wang Tiejun, Ren Sisi, Xu Ming. Research on Hybrid Object Classification Method Based on eCognition[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2014 (3): 137-138 (王铁军, 任思思, 徐明. 基于eCognition的混合对象分类方法研究[J]. 测绘通报, 2014(3): 137-138)
- [11] Comaniciu D, Meer P. Mean Shift: A Robust Approach Toward Feature Space Analysis[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(5): 603-619
- [12] Cai Jingquan. Cultural Heritage[M]. Wuhan: Central China Normal University, 2014 (蔡靖泉. 文化遗产学[M]. 武汉: 华中师范大学出版社, 2014)

## Automatic Monitoring of Linear Cultural Heritage Based on Multi-temporal DOM Images

WANG Jianhui<sup>1</sup> CHENG Baoyin<sup>1</sup> LÜ Zhicai<sup>1</sup>

1 Suzhou Surveying & Mapping Institute Co. Ltd., Suzhou 215000, China

**Abstract:** In this paper, remote sensing technology is applied to the monitoring of the dynamic changes of cultural heritage. Based on multi-temporal digital orthophoto map(DOM) images, the multi-band difference method and the object-oriented post-classification change detection method are used to monitor the dynamic changes of the Precious Belt Bridge in Suzhou. Experimental results show that both methods can be applied to the dynamic change detection of cultural heritage, and the object-oriented post-classification change detection method is more effective for continuous and large-scale change of ground objects, while multi-band difference method is more sensitive to discrete ground object changes. The research results in this paper can provide ideas for the intelligent monitoring and protection of the cultural heritage in our country, which is have certain promotion value.

**Key words:** linear cultural heritage; automatic monitoring; multi-temporal digital orthophoto map; multi-band difference method; object-oriented classification

**First author:** WANG Jianhui, researcher level senior engineer, mainly engaged in heritage monitoring technology research. E-mail: 240238944@qq.com

**Foundation support:** Jiangsu Province Fifth Phase “333 Projects” Research Funding Projects, No. BRA2016069; Special Projects of Industrial Technology Innovation in Suzhou 2017, No. SS201740; the Key Projects of Consultation and Research of the Chinese Academy of Engineering, No. 2017-XZ-13.

(上接第 76 页)

## National Geographical Conditions Statistical Analysis in the Era of Big Data

LIU Jiping<sup>1,2</sup> DONG Chun<sup>1</sup> KANG Xiaochen<sup>1</sup> QIU Shike<sup>2</sup> ZHAO Rong<sup>1</sup> LI Bin<sup>1</sup> SUN Lijian<sup>1</sup>

1 Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100830, China

2 Institute of Geographical Sciences, Henan Academy of Sciences, Zhengzhou 450052, China

**Abstract:** Statistical analysis is an important way of extracting information from the national geographical conditions data. It can reflect the internal spatial characteristics of resources, environment, ecology and economy, and their interactions from different dimensions. In view of the high-efficiency management, high-intensity computation and deep-level service for statistical analysis based on the big data, this paper puts forward a technical framework of national geographical conditions statistical analysis, and discusses the core process of statistical analysis from three dimensions: big data storage and integration, key technologies for statistical computation, service modeling and application. This paper will help to improve the application level of national geographical conditions monitoring and statistical analysis service in natural resources supervision, ecological protection and restoration, etc., and can promote the transformation and upgrading of geographical information industry in China.

**Key words:** national geographical conditions; big data; technical framework; statistical computation; service modeling

**First author:** LIU Jiping, PhD, professor, specializes in geospatial big data for e-government, government geographic information services, emergency geographic information services. E-mail: liujp@casm.ac.cn

**Corresponding author:** KANG Xiaochen, PhD, assistant researcher. E-mail: kangxc@casm.ac.cn

**Foundation support:** The National Key Research and Development Program of China, No. 2016YFC0803101; the National Natural Science Foundation of China, Nos. 41701461, 71773117; the National Social Science Fund of China, Nos. 18ZDA066, 17BJL004; the Key Projects of Consultation and Research of the Chinese Academy of Engineering, No. 2017-XZ-13.