

基于缨帽变换的农田洪水淹没范围遥感信息提取

陈超¹ 何新月¹ 傅姣琪¹ 褚衍丽²

1 浙江海洋大学海洋科学与技术学院,浙江 舟山,316022
2 浙江海洋大学经济与管理学院,浙江 舟山,316022

摘要:针对灾后水中悬浮物质增多和高含水量农作物导致常规水体信息提取方法精度较低的问题,提出了一种基于缨帽变换的农田洪水淹没范围遥感信息提取方法。首先,对灾前、灾后遥感图像进行辐射定标和大气校正。其次,通过缨帽变换获取绿度分量和湿度分量;然后,利用最大类间方差法对湿度分量进行分割,结合绿度分量提取水体信息;最后,叠加农田矢量数据,确定农田洪水淹没范围。以湖南省岳阳市及其附近区域为研究区,从定性和定量两个方面对方法进行精度评价。结果表明,该方法所得结果边界清晰,范围准确,生产者精度和用户精度分别为0.97和0.90。该研究能够为农田灾损评估、洪涝灾害动态监测提供参考。

关键词:缨帽变换;洪水;淹没范围;农田;精度评价
中图分类号:P208 **文献标志码:**A

洪水具有发生频率高、突发性强、受灾范围广、危害性大的特点,给自然界多种生物群体的生存与繁荣带来危害^[1-2]。农田是农作物生长的载体,是保障农业生产和维持国民经济的基础,而洪水会降低或摧毁农田的生产功能,造成作物减产甚至绝收,严重威胁国民经济和人民生命财产安全^[3-4]。

通常情况下,农田洪水淹没范围确定和损毁评估以人工调查的方式进行,虽然精度较高,但是费时费力,无法满足大面积信息精准提取的要求^[5]。另外,灾后交通受到破坏,现场调查往往难以及时展开,影响了灾害损毁评估的时效性^[6]。遥感技术以其范围广、谱段多、时效高、信息大、成本低等优势,已成为自然灾害调查和防治的重要手段^[7-9]。利用遥感技术提取农田洪水淹没范围主要有两种方法:特征分析法和指数法。特征分析法首先分析灾前、灾后农田遥感图像特征,再利用面向对象分类法、决策树法等识别损毁农田,物理含义明确,但面向对象分类法中的分割尺度和决策树法中的判别规则往往难以确定^[10-13]。指数法在明确多光谱图像中地表物体最强和最弱反射波段的基础上,利用归一化差异植被指数(normalized difference vegetation index,NDVI)、归一

化差异水体指数(normalized difference water index,NDWI)、改进的归一化差异水体指数(modified normalized difference water index,MNDWI)等提取水体信息,并和农田矢量数据进行叠加分析,以确定农田洪水淹没范围,虽然操作简单,但悬浮物质往往导致水质变化,使得始终维持地表物体反射的强弱关系变得较为困难,并且易受植被和云的干扰,影响识别精度^[14-16]。

洪水发生后,农田土质疏松和水流加速会造成泥沙、腐殖质等悬浮物质增多,引起水体光谱特征发生变化,进而导致传统水体信息提取方法失效。并且,高含水量的农作物也会对结果产生干扰。本文结合缨帽变换(tasseled cap transformation, TCT)原理,提出一种基于缨帽变换的农田洪水淹没范围遥感信息提取方法,克服水中悬浮物质增多和高含水量农作物对水体信息提取的影响,保证复杂环境下农田洪水淹没范围识别结果的准确性和可靠性。

1 研究方法

本文缨帽变换是 Kauth 与 Thomas 在 1976

收稿日期:2018-07-12
项目资助:国家自然科学基金(41701447);浙江海洋大学优秀硕士论文培育项目;浙江省省属高校科研院所基本科研业务费专项资金(2019J00003)。
第一作者:陈超,博士,讲师,主要从事灾害遥感、遥感图像处理等相关研究。chenchao@zjou.edu.cn
通讯作者:褚衍丽,硕士,助教。chuyanli_shandong@163.com

年根据植物、水体等地物在多维光谱空间中的分布特点提出的一种经验线性方法^[17-18]。卫星遥感图像经过缨帽变换之后会生成几个分量。第一分量为亮度指数,反映地物的亮度反射强弱;第二分量为绿度指数,反映植被覆盖率,绿度指数越大,植被覆盖率越高,植被信息越丰富;第三分量为湿度指数,表征像元所对应地物的水分状态;第四分量为黄度指数和噪声,反映地表植被的成熟程度和原始数据中的噪声分布。

本文在明确缨帽变换原理的基础上,针对悬浮物质增多和高含水量农作物导致常规水体信息提取方法失效这一问题,提出一种基于缨帽变换的农田洪水淹没范围遥感信息提取方法,具体技术路线如图 1 所示。

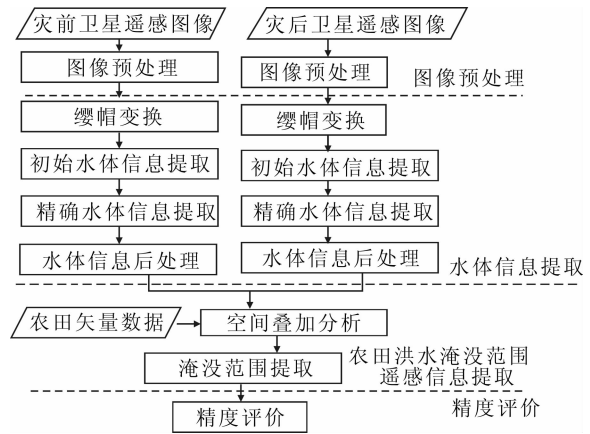


图 1 技术路线图

Fig. 1 Flowchart of Technique Route

基于缨帽变换的农田洪水淹没范围遥感信息提取方法分为 4 个步骤:图像预处理、水体信息提取、农田洪水淹没范围遥感信息提取、精度评价。图像预处理是对洪水发生前、后的卫星遥感图像进行辐射定标和大气校正,得到研究区反射率数据,并去除大气吸收和散射的影响。水体信息提取是通过最大类间方差法获取阈值,对缨帽变换后的湿度分量进行分割,结合绿度分量去除高含水量农作物的影响,并利用数学形态学运算进行后处理,得到灾前、灾后水体信息。农田洪水淹没范围遥感信息提取是对灾前、灾后水体信息进行空间叠加分析,并在农田矢量数据的支持下,获取农田洪水淹没范围。精度评价是结合目视解译结果,从定性和定量两个角度对方法进行验证。

2 研究区与数据

本文选择湖南省岳阳市及其附近区域为研究区,验证方法的有效性和结果的准确性。岳阳市

水系发达,湖泊众多,境内水域通过多条河流与洞庭湖、长江相连。其中,洞庭湖是长江中游最重要的调蓄湖泊,对于长江流域的抗洪减灾具有重要意义。

2016 年 6 月底至 7 月初,长江中下游及江淮、西南等地出现强降雨,洞庭湖水位上涨明显,给周民众的生命和财产带来严重威胁。图 2 为研究区灾前、灾后 Landsat 8 陆地成像仪 (Operational land imager,OLI) 遥感图像,成像时间分别为 2016-06-05 和 2016-07-23。通过图 2 可以看出,研究区包含水体、田地、植被、城镇、道路等地物。灾害发生前后,水体面积发生了显著变化,淹没了田地及部分村庄。由于雨水冲刷,水中悬浮泥沙含量增加,导致水体光谱特性发生变化,给水体信息带来了挑战。

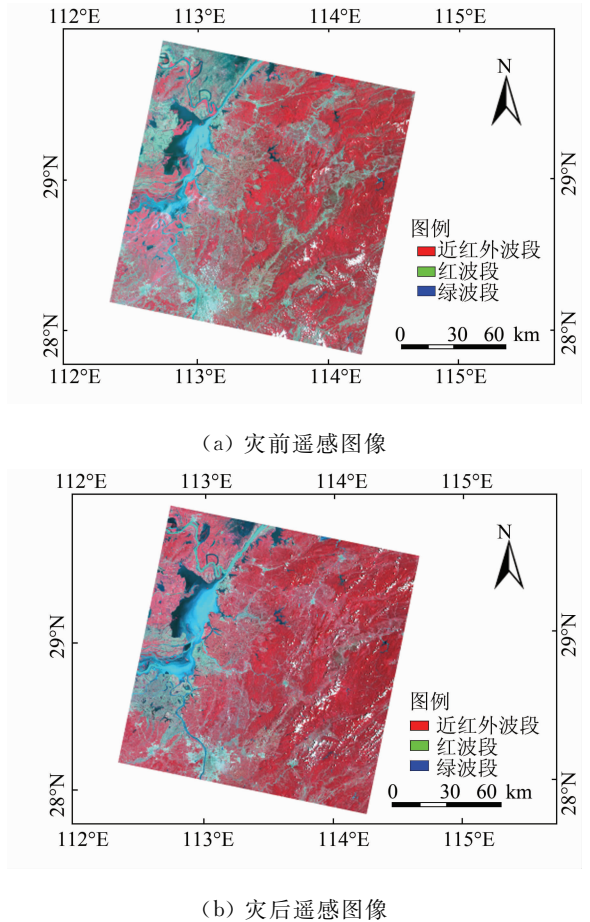


图 2 Landsat 8 OLI 卫星遥感图(标准假彩色合成)

Fig. 2 Pseudo-colour Composite Image by Landsat 8 OLI in Study Area

3 实验结果与分析

3.1 实验结果

缨帽变换依赖于缨帽变换系数,而缨帽变换系数与传感器(波段范围、中心波长、成像方式)以

及遥感图像有关。考虑到研究区所处位置及成像时间,本文选择 Liu 等人发展的 Landsat 8 OLI 缨帽变换系数^[19]。

缨帽变换后绿度分量和湿度分量如图 3 所示。可以看出,在绿度分量上,山区、农田等高植

被覆盖区表现出亮色调,而河流、湖泊等地物呈现暗色调;在湿度分量上,河流、湖泊等含水量较高的地物显示亮色调,而裸地、建成区、山区等含水量较低的地物色调较暗。

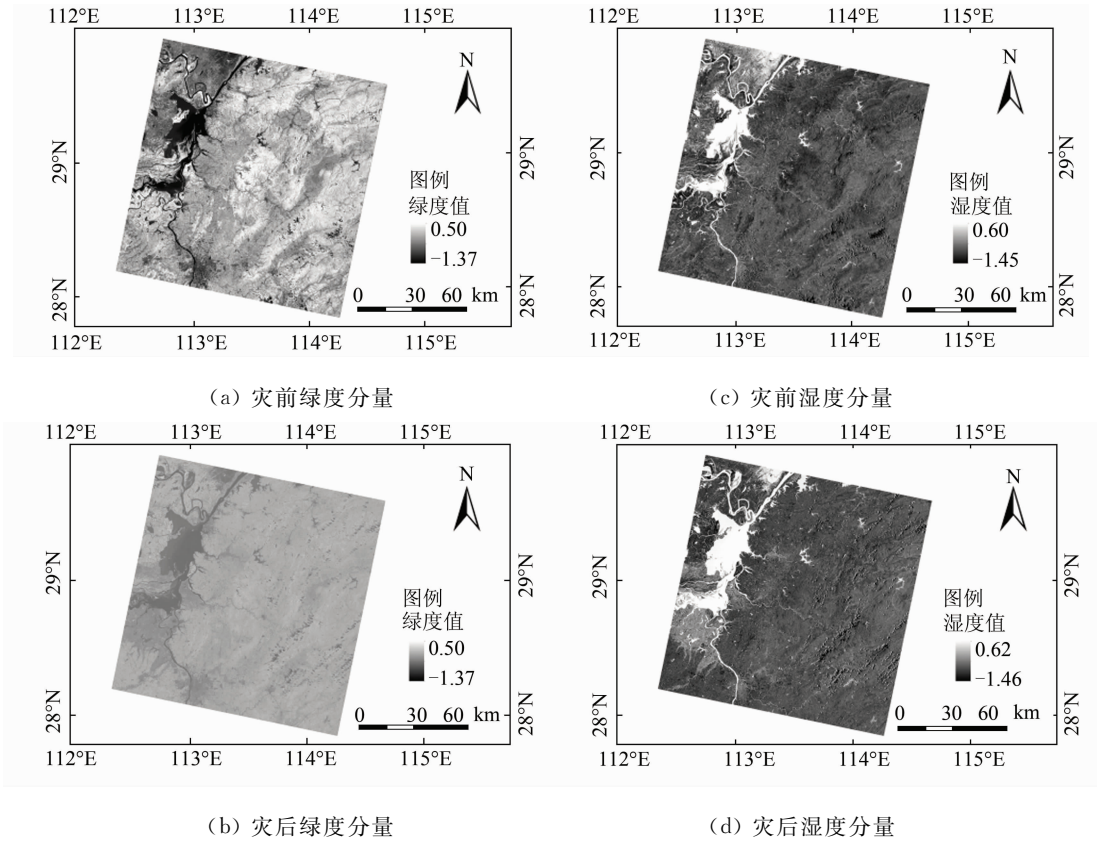


图 3 缨帽变换后各分量

Fig. 3 Result Images After the TCT of Landsat 8 OLI Images

缨帽变换之后,综合利用绿度分量和湿度分量进行水体信息提取。首先,利用最大类间方差法对湿度分量进行阈值分割,获取初始水体信息,具体如下:

$$I_{\text{water}0} = \begin{cases} 1, & I_{\text{wetness}} > T \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

式中, $I_{\text{water}0}$ 表示使用初始水体信息提取结果; I_{wetness} 为缨帽变换后湿度分量; T 为使用最大类间方差法得到的阈值。

然后综合绿度分量,进行精确水体信息提取,以去除高含水量农作物的影响,具体为:

$$I_{\text{water}1} = \begin{cases} 1, & I_{\text{water}0} = 1, I_{\text{greenness}} < 0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

式中, $I_{\text{water}1}$ 表示精确水体信息提取结果; $I_{\text{water}0}$ 为初始水体信息提取结果; $I_{\text{greenness}}$ 为缨帽变换后绿度分量,其中阈值 0 根据缨帽变换原理及经验得到。

最后,利用数学形态学对精确水体信息提取

结果进行后处理,以填充水体内部孔洞,去除悬浮物质对水体信息提取结果的影响。其中,开启运算用于消除阈值分割引起的斑点噪声,闭合运算用于抑制泥沙、波浪等引起的细小孔洞和裂缝^[20-21]。灾前、灾后水体信息提取结果如图 4 所示。

为了验证本文方法的有效性和适用性,分别利用 NDVI 法、NDWI 法、MNDWI 法计算农田洪水淹没范围,并与本文方法所得结果进行比较。NDVI、NDWI、MNDWI 通过将遥感图像的特定波段进行归一化差值处理,以增强水陆反差,进而建立水体信息提取模型。在 NDVI、NDWI、MNDWI 图像中,水体与陆地(植被、城镇、道路、裸地)对比明显,其中水体在 NDVI 图像上显示暗色调,而在 NDWI 和 MNDWI 图像上显示亮色调,因此,可以利用最大类间方差法进行阈值分割以提取水体。NDVI、NDWI、MNDWI 的具体表达式为:

$$I = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (3)$$

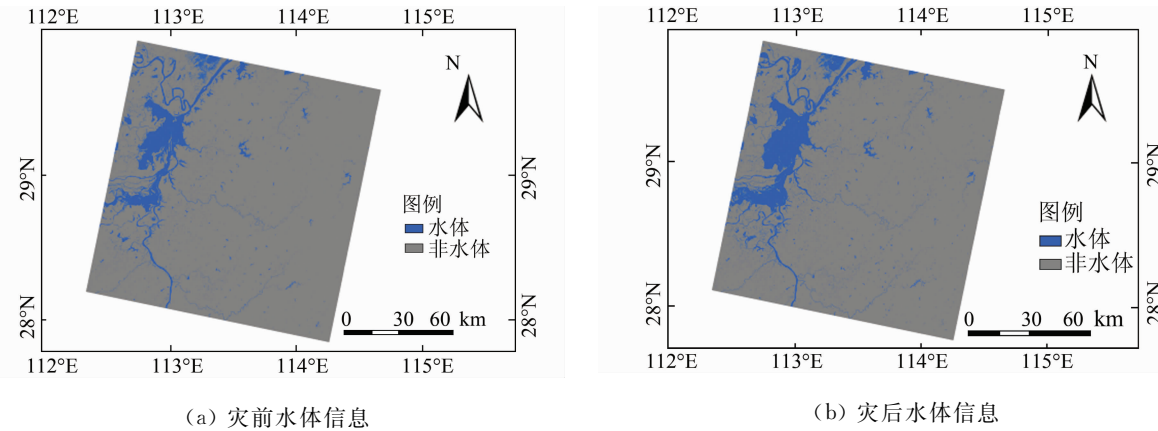


图 4 水体信息提取结果

Fig. 4 The Resulting Images of Water Body Information

式中, I 表示计算得到的 NDVI、NDWI 或 MNDWI 图像; ρ_1 和 ρ_2 表示不同波段的遥感图像反射率数据。对于 NDVI, ρ_1 为红波段, ρ_2 为近红外波段; 对于 NDWI, ρ_1 为近红外波段, ρ_2 为绿波段; 对于 MNDWI, ρ_1 为短波红外波段, ρ_2 为绿波段。

作为一种典型环境因子, 水体在遥感图像上具有独特的表现特征。正常情况下, 由于强吸收, 水体在可见光-近红外波段的反射率低于城镇、植被、道路、裸地等地物, 呈现暗色调^[7]。随着悬浮泥沙等物质的增多, 水体在标准假彩色合成影像

(近红外波段、红波段、绿波段) 上显示灰白色, 与正常情况下水体对比明显 (见图 2)。因此, 本文基于灾前、灾后标准假彩色合成影像, 从颜色、形状、纹理等方面构建解译标志, 结合解译经验进行分析和推理, 得到农田洪水淹没范围目视解译结果, 用于精度评价。

将本文方法、NDVI 法、NDWI 法、MNDWI 法所得结果与目视解译结果进行比较, 具体如图 5 所示。在图 5 中, 红色表示正确提取部分 (同时存在于目视解译结果和各方法所得结果中), 蓝色

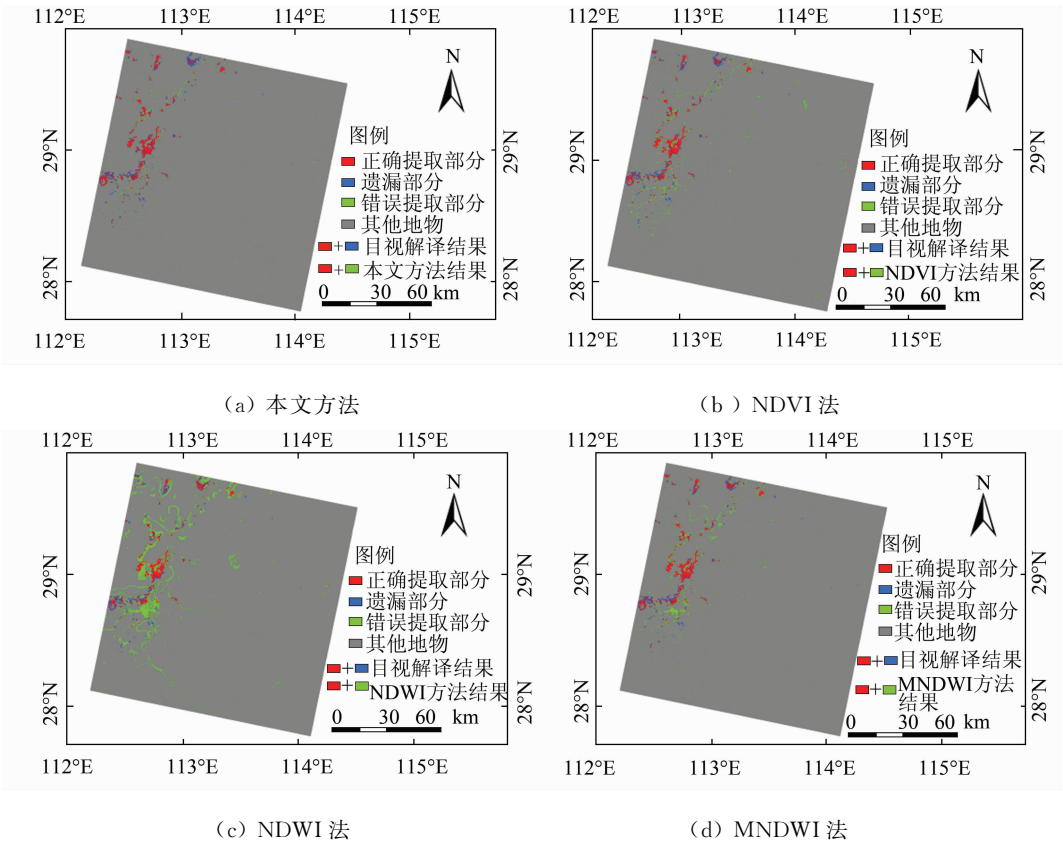


图 5 洪水淹没范围结果图

Fig. 5 Result Images of Flooding Area Information

表示遗漏部分(存在于目视解译结果中,而不存在各方法所得结果中),绿色表示错误提取部分(不存在于目视解译结果中,而存在于各方法结果中),红色与蓝色之和表示目视解译结果,红色与绿色之和表示各方法所得结果。通过图 5 可以看出,本文方法所得结果边界范围准确,遗漏和错误提取较少,而 NDVI 法、NDWI 法、MNDWI 法均存在较多错误提取。

3.2 精度评价

精度评价不仅是评价信息提取结果好坏的标准,更是评估信息提取方法性能的一个重要依据^[20, 22-23]。本文从定性和定量两个角度对农田洪水淹没范围进行精度评价。定性评价主要利用人眼的视觉特性,结合专业知识,从空间位置和边界范围的准确性来对结果进行判读。定量评价是利用数理统计的方法,从生产者精度、用户精度方面对结果进行分析。

在定性评价方面,通过图 5 可以看出,本文方法得到的农田洪水淹没范围空间位置准确,边界清晰,与原始图像较为一致。而 NDVI 法、NDWI 法、MNDWI 法得到的结果均存在不同程度的误提和漏提现象,特别是 NDWI 法,误提现象较为明显。

在定量评价方面,利用目视解译得到的洪水淹没范围矢量数据计算生产者精度(producer accuracy,PA)、用户精度(user accuracy,UA)、漏分误差(errors of omission,OE)和错分误差(errors of commission,CE),得到结果如表 1 所示。本文方法所得结果的生产者精度和用户精度分别为 0.97 和 0.90,优于其他 3 种方法,这说明不但本文方法得到结果占真实农田淹没范围的比例较大,漏分误差较小,而且被正确提取的农田洪水淹没范围占提取结果的比例也较大,错分误差较小,用户可以从结果中获取更多有用信息。

表 1 定量评价结果

Tab. 1 Quantitative Evaluation for Result Images

方法	评价指标			
	PA	UA	OE	CE
本文方法	0.97	0.90	0.03	0.10
NDVI	0.84	0.66	0.16	0.34
NDWI	0.73	0.70	0.27	0.30
MNDWI	0.88	0.66	0.12	0.34

4 结 语

本文面向农田洪水,在明确缨帽变换原理的基础上,以保证结果的准确性和提高信息提取精

度为目的开展研究,提出了一种基于缨帽变换的农田洪水淹没范围遥感信息提取方法。综合利用缨帽变换后绿度分量和湿度分量,能够显著减弱悬浮物质和高含水量农作物对农田洪水淹没范围提取结果的影响。选取湖南省岳阳市及其附近区域为研究区,开展农田洪水淹没范围提取实验,并结合目视解译结果,从定性和定量两个角度评价了本文方法的有效性和适用性。

实验结果表明,该方法能够准确地提取出农田洪水淹没范围,边界清晰,位置准确,生产者精度和用户精度分别为 0.97 和 0.90,与目视解译结果相比误差较小,保证了农田洪水淹没范围的准确性和完整性。其中,利用缨帽变换后湿度分量提取水体信息能够有效避免灾后悬浮物质增多对水体波谱特性的影响,而绿度分量的使用能够减弱高含水量农作物带来的误差。

缨帽变换系数与传感器和成像时间有关。因此,利用研究区相关的遥感图像对缨帽变换系数进行订正,以减少提取结果的误差是今后需要继续努力的方向。准确地选取湿度分量和绿度分量阈值,以更为准确地提取水体信息是下一步的研究内容。

参 考 文 献

[1] Li Jialin, Cao Luodan, Pu Ruiliang. Progresses on Monitoring and Assessment of Flood Disaster in Remote Sensing[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2014, 45(3): 253-260(李加林, 曹罗丹, 浦瑞良. 洪涝灾害遥感监测评估研究综述 [J]. *水利学报*, 2014, 45(3): 253-260)

[2] Rosser J F, Leibovici D G, Jackson M J. Rapid Flood Inundation Mapping Using Social Media, Remote Sensing and Topographic Data [J]. *Natural Hazards*, 2017, 87(1): 103-120

[3] Li Bin, Yan Qin, Zhang Li, et al. Flood Monitoring and Analysis over the Middle Reaches of Yangtze River Basin with MODIS Time-Series Imagery [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2013, 38(7): 789-793(李斌, 燕琴, 张丽, 等. 长江中游洪涝灾害特征的 MODIS 时序监测与分析 [J]. *武汉大学学报 · 信息科学版*, 2013, 38(7): 789-793)

[4] Chen Yingshu, Zhang Xiaochun, Wang Xiugui, et al. Extraction of Crop Planting Structure in Seasons Prone to Waterlogging Using Landsat 8 OLI and MODIS Data[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(21): 165-

- 173(陈颖姝, 张晓春, 王修贵, 等. 基于 Landsat 8 OLI 与 MODIS 数据的洪涝季节作物种植结构提取 [J]. 农业工程学报, 2014, 30(21): 165-173)
- [5] Liu Liangming, Xu Qi, Zhou Zheng, et al. Ice Flood Monitoring of Yellow River Using HJ-1A/1B CCD Data [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 37(2): 141-144(刘良明, 徐琪, 周正, 等. 利用 HJ-1A/1B CCD 数据进行黄河凌汛监测 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2012, 37(2): 141-144)
- [6] Li Deren, Chen Xiaoling, Cai Xiaobin. Spatial Information Techniques in Rapid Response to Wenchuan Earthquake [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2008, 12(6): 841-851(李德仁, 陈晓玲, 蔡晓斌. 空间信息技术用于汶川地震救灾 [J]. 遥感学报, 2008, 12(6): 841-851)
- [7] Chen Shupeng, Tong Qingxi, Guo Huadong. Mechanism of Remote Sensing Information [M]. Beijing: Chinese Science Publishing & Media Ltd, 1998(陈述彭, 童庆禧, 郭华东. 遥感信息机理研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1998)
- [8] Li Deren, Shen Xin, Gong Jianya, et al. On Construction of China's Space Information Network [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2015, 40(6): 711-715(李德仁, 沈欣, 龚健雅, 等. 论我国空间信息网络的构建 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2015, 40(6): 711-715)
- [9] Li Deren, Ma Jun, Shao Zhenfeng. Innovation in the Census and Monitoring of Geographical National Conditions [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(1): 1-9(李德仁, 马军, 邵振峰. 论地理国情普查和监测的创新 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(1): 1-9)
- [10] Yang Shuwen, Li Yikun, Liu Tao, et al. A New Automatic Water Body Feature Extraction Method Based on SPOT5 Images [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2015, 40(3): 308-314(杨树文, 李轶鲲, 刘涛, 等. 基于 SPOT5 影像自动提取水体的新方法 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2015, 40(3): 308-314)
- [11] Sui Haigang, Chen Gugang, Hu Chuanwen, et al. Integrated Segmentation, Registration and Extraction Method for Water-Body Using Optical Remote Sensing Images and GIS Data [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2016, 41(9): 1 145-1 150(睢海刚, 陈光, 胡传文, 等. 光学遥感影像与 GIS 数据一体化的水体分割、配准与提取方法 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2016, 41(9): 1 145-1 150)
- [12] Chen C, Fu J, Zhang S, et al. Coastline Information Extraction Based on the Tasseled Cap Transformation of Landsat-8 OLI Images [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2019, 217: 281-291
- [13] Zhao X, Wang P, Chen C, et al. Waterbody Information Extraction from Remote-Sensing Images After Disasters Based on Spectral Information and Characteristic Knowledge [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2017, 38(5): 1 404-1 422
- [14] McFeeters S K. The Use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17(7): 1 425-1 432
- [15] Xu H. Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27(14): 3 025-3 033
- [16] Ji L, Zhang L, Wylie B. Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2009, 75(11): 1 307-1 317
- [17] Crist E P. A TM Tasseled Cap Equivalent Transformation for Reflectance Factor Data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1985, 17(3): 301-306
- [18] Crist E P, Kauth R J. The Tasseled Cap De-mystified [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1986, 52(1): 81-86
- [19] Liu Q, Liu G, Huang C, et al. Comparison of Tasseled Cap Transformations Based on the Selective Bands of Landsat 8 OLI TOA Reflectance Images [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2015, 36(2): 417-441
- [20] Chen C, Qin Q, Zhang N, et al. Extraction of Bridges over Water from High-Resolution Optical Remote-Sensing Images Based on Mathematical Morphology [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2014, 35(10): 3 664-3 682
- [21] Chen C, Sui X, Zhen G, et al. Extraction of Cross-sea Bridges from GF-2 PMS Satellite Images Using Mathematical Morphology [C]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Beijing, China, 2016
- [22] Chen C, Qin Q, Chen L, et al. Photometric Correction and Reflectance Calculation for Lunar Images from the Chang'E-1 CCD Stereo Camera [J]. *JOSA A*, 2015, 32(12): 2 409-2 422
- [23] Fu J, Chen C, Chu Y. Spatial-Temporal Variations of Oceanographic Parameters in the Zhoushan Sea Area of the East China Sea Based on Remote Sensing Datasets [J]. *Regional Studies in Marine Science*, 2019, 28: 100626

A Method of Flood Submerging Area Extraction for Farmland Based on Tasseled Cap Transformation from Remote Sensing Images

CHEN Chao¹ HE Xinyue¹ FU Jiaoqi¹ CHU Yanli²

1 Marine Science and Technology College, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China
2 School of Economics and Management, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China

Abstract: After the disaster, the increase of suspended matter in water and the high water content crops will lead to the low accuracy of conventional methods of water body information extraction. In response to this problem, a new method of extracting flood submerging area for farmland based on tasseled cap transformation is presented in this paper. First, the remote sensing images before and after disaster are pre-processed by radiometric calibration and atmospheric correction. Then, the tasseled cap transformation is performed based on the coefficients corresponding to the sensor to obtain the greenness component and the wetness component. Third, the wetness component is divided by the OTSU method, and combined with the greenness component to obtain the waterbody information. Finally, the spatial overlay analysis of the waterbody information and farmland vector data is carried out to extract the flood submerging area for farmland. Taking Yueyang City of Hunan Province and its vicinity as research area, the accuracy of the proposed method is evaluated both qualitatively and quantitatively to verify the validity and applicability of the method. The results shows that the boundary of flood submerging area for farmland is clear, the range is more accurate, and the producer's accuracy and the user's accuracy are 0.97 and 0.90, respectively. This paper provides references for agricultural risk evaluation and dynamic monitoring of flood disaster.

Key words: tasseled cap transformation; flooding; submerging area; farmland; accuracy evaluation

First author:CHEN Chao, PhD, lecturer, specializes in remote sensing in disasters and remote sensing image processing. E-mail: chen-chao@zjou.edu.cn

Corresponding author:CHU Yanli, master, assistant teacher. E-mail: chuyanli_shandong@163.com

Foundation support:The National Natural Science Foundation of China, No. 41701447; the Training Program of Excellent Master Thesis of Zhejiang Ocean University; the Fundamental Research Funds for Zhejiang Provincial Universities and Research Institutes, No. 2019J00003.