

引 用 格 式:Wang Jiapeng,Liu Ting,Yu Zhiqiang,*et al.*A Research on Town Flood Information Rapid Extraction based on COSMO-SkyMed and SPOT-5[J].Remote Sensing Technology and Application,2016,31(3):564-571.[王嘉芃,刘婷,俞志强,等.基于 COSMO-SkyMed 和 SPOT-5 的城镇洪水淹没信息快速提取研究[J].遥感技术与应用,2016,31(3):564-571.]
doi:10.11873/j.issn.1004-0323.2016.3.0564

基于 COSMO-SkyMed 和 SPOT-5 的 城镇洪水淹没信息快速提取研究

王嘉芃^{1,2},刘 婷^{1,2},俞志强³,胡潭高^{1,2},张登荣^{1,2},寻丹丹^{1,2},王冬海⁴
(1.杭州师范大学遥感与地球科学研究院,浙江 杭州 311121
2.浙江省城市湿地与区域变化研究重点实验室,浙江 杭州 311121
3.浙江省地理信息中心,浙江 杭州 310012;4.中电科海洋信息技术研究院有限公司,北京 100043)

摘要:洪水是我国最为频繁的自然灾害之一,如何快速准确地获取洪水淹没范围在救灾减灾工作中具有重要意义。目前,卫星遥感技术已广泛应用于洪水信息提取的研究中。不同的遥感数据源在洪水信息提取中各有利弊,综合研究雷达影像和可见光影像的优缺点,建立了基于多源遥感数据的洪水淹没信息快速提取模型。首先,利用灾中第一时间获取的 COSMO-SkyMed 雷达影像,采用面向对象的方法提取出洪灾发生时的水域空间信息;其次,利用灾前 SPOT-5 高分辨率光学影像,采用多光谱影像波段运算和决策树分类的思想提取出常态下的水域空间信息;最后,对灾中雷达影像 COSMO-SkyMed 提取的水体和灾前光学影像 SPOT-5 提取的水体进行空间差值运算,得到洪水淹没范围信息,并利用洪水当天拍摄的无人机遥感影像对结果进行精度评价。将该模型应用于 2013 年浙江余姚水灾,监测结果表明:在洪水发生后,能够快速获取淹没范围空间信息,并且提取精度达到 93.7%,为洪灾的防治以及抗洪抢险救灾工作提供强有力的技术支撑和基础数据信息。

关 键 词:COSMO-SkyMed;SPOT-5;洪水淹没范围;面向对象;差值运算

中图分类号:TP 79 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2016)03-0564-08

1 引 言

洪水是全球发生最为频繁的危害之一,也是造成伤亡损失最严重的灾害之一^[1]。在我国,洪灾也是出现几率最高、影响范围最广、造成损失最大的灾害^[2]。据统计,建国以来我国因洪灾受影响的人口达数亿,造成的直接经济损失已过千亿元^[2]。因此,洪灾的有效防治、实时监测和灾情评估十分重要,而这项工作的基础正是洪水淹没信息的快速获取^[3]。

卫星遥感技术的发展为洪水淹没信息快速获取

提供了技术支持,近年来已有许多国内外学者借助不同的遥感数据和遥感技术手段成功提取出洪水相关信息和洪水淹没范围。例如,早在 20 世纪 90 年代我国已有研究探讨了如何利用 Landsat-5 TM 遥感数据^[4]、FY-1B^[5]和 NOAA^[6]气象卫星遥感数据及星载雷达数据^[7]提取洪水水体信息;2012 年,田玉刚等^[8]利用时间序列的 MODIS 影像提取洪水期间作物的淹没历时;2014 年,武汉大学徐川等^[9]、中国科学院罗华等^[10]、南京大学王亚飞等^[11]研究基于 SAR 影像的水体信息提取方法。国际上,2007

收稿日期:2015-04-02;修订日期:2015-07-02
基金项目:浙江省公益技术研究社会发展项目(2014C33049),国家 863 计划(2013AA12A402、2015AA7015096),杭州市科技发展计划(20150533B04)资助。
作者简介:王嘉芃(1991—),女,山东荣成人,硕士研究生,主要从事 InSAR 数据处理方面的研究。E-mail:361608279@qq.com。
通讯作者:刘 婷(1985—),女,江西高安人,讲师,主要从事空间数据挖掘研究。E-mail yats521@163.com

年,Matgen 等^[12]利用 SAR、高精度 DEM 数据和水文模型提取了 Alzette 流域的洪水信息;2008 年,Nataliia 等^[13]采用人工神经网络方法对 ERS-2、ENVISAT/ASAR 和 RADARSAT-1 等 SAR 数据进行分割和分类,提取乌克兰和匈牙利 Tisza 流域和中国淮河流域的洪水情况;2011 年,Matgen 等^[14]采用阈值法和区域生长法组合的方法对 SAR 影像进行洪水范围提取;2013 年,Claudia 等^[15]利用 60 景时间序列 ENVISAT/ASAR 影像对湄公河三角洲进行洪水淹没信息和动态变化信息的提取;2014 年,Biswajeet 等^[16]对 TerraSAR-X 数据进行纹理分析,提取的洪水结果的总体精度达到 83.63%,Ward 等^[17]组合利用 ALOS 微波和 TM 光学遥感数据分析了洪灾期间植被的动态变化状况,Li 等^[18]利用高精度的 SAR 影像、河流的连通性和主动轮廓模型(ACM)提取河流边界,Blanco 等^[19]利用高分辨率的遥感影像评价洪水对建筑物和基础设施的损害,Powell 等^[20]探讨利用不同传感器(Landsat、MODIS、AVHRR 等)获得的时间序列 NDVI 来反映洪水的淹没范围,Tsanis 等^[21]利用 GeoEye-1 产生的高精度 DEM 进行洪水制图,Manavalana 等^[22]利用 DEM 和 SAR 建立了区分洪水淹没区深浅和未淹没区的模型,Dumitru 等^[23]利用支持向量机的方法对 TerraSAR-X 数据进行分析并将该方法应用于 2011 日本海啸和 2013 德国洪水的快速制图和灾情评估,Elbialy 等^[24]利用 TerraSAR-X 和 ALOS/PALSAR 数据提取土壤湿度并应用到德国萨克森州的 Gottenba 流域监测洪水。在多源遥感数据中,每种类型的遥感数据在洪水信息获取中都各具优势。Landsat/TM、SPOT、MODIS、NOAA/AVHRR 等光学遥感数据具有较高的空间分辨率和光谱分辨率,更容易从中提取出较高精度的洪水水体信息,但洪水期间多云雨,光学影像不易获得;而 RadarSat、Envisat/ASAR、TerraSAR-X、COSMO-SkyMed 等雷达遥感数据却不受天气影响,可全天候成像,但雷达数据无法准确区分原有水体和洪水信息,这使洪水淹没范围的准确提取存在一定难度^[25]。

因此,本文将研究综合不同平台遥感数据的优势,并结合城镇区域土地利用/覆盖类型复杂以及洪水灾害发生时多为降水天气的特征,利用洪水灾中的高分辨率 COSMO-SkyMed 雷达数据和灾前的高分辨率 SPOT-5 光学数据快速提取洪水的淹没信息,并利用洪水当天的无人机影像数据对提取的淹没结果进行精度评价。

2 研究区和多源遥感数据

2.1 研究区概况

本文研究区选在浙江省宁波市的余姚流域,位于余姚市东侧姚江沿岸(如图 1)。主要包括大河村、蜀山村和应家墩等城镇化典型区域。研究区内地势相对较为平坦,一条小型河流从城镇下方穿过,研究区内分布有村庄和农田,水位一旦上涨,沿岸村落以及农田较易受到淹没威胁。受 2013 年第 23 号强台风“菲特”带来的强降水的影响,整个研究区洪灾泛滥,绝大部分的村庄和农田被洪水淹没,给当地造成了重大损失。

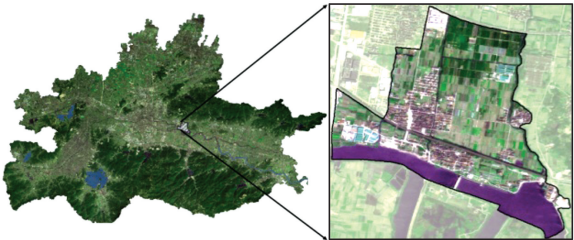


图 1 研究区
Fig.1 The study area

2.2 多源遥感数据

本文研究所选用的数据有 2013 年洪灾前 SPOT-5 光学遥感数据、2013 年洪灾中 COSMO-SkyMed SAR 雷达遥感数据及与 SAR 数据同天拍摄的无人机影像数据(3 种遥感数据的快视图如图 2 所示)。其中,SPOT-5 光学数据是采用 RGB 组合的多光谱数据,获取时间为 2013 年 7 月 10 日,融合后分辨率约 2.5 m; SAR 数据是由 COSMO-SkyMed 卫星获得的 GTC 产品(已经过 DEM 正射校正和地理编码处理),获取时间为 2013 年 10 月

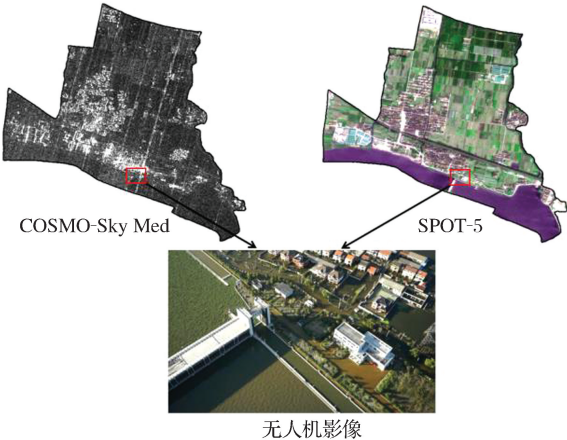


图 2 3 种遥感数据的快视图

Fig.2 Quick views of three types of remote sensing data

12 日,X 波段,HH 极化,分辨率为 2.5 m;无人机影像数据摄于 2013 年 10 月 12 日 16 点 03 分,拍摄覆盖范围如图 1 右侧黑边框内所示范围。

2.3 数据预处理

首先,对 SPOT-5 和 COSMO-SkyMed SAR 影像进行几何校正,并依据研究区范围进行影像裁剪。COSMO-SkyMed SAR 影像是 1D 级别的 GTC 产品,已经过地理编码和 DEM 地形纠正,所以这里的几何校正处理主要是实现 COSMO-SkyMed SAR 影像与 SPOT-5 影像的精确配准。由于研究区内地势相对平坦,两种遥感影像的分辨率相近,所以选择二次多项式模型进行几何校正。几何校正的控制点多选在较清楚的建筑物的外轮廓、河流的拦河坝、道路的交叉口等,经过多次几何校正,保证校正的精度在一个像元以内。其次,对裁剪好的 COSMO-SkyMed SAR 影像进行斑噪压缩和图像增强处理。斑噪是 SAR 影像因其成像方式而存在的固有噪声,通常处理斑噪的方法有 Lee 滤波、Lee-sigma 滤波、frost 滤波和 Gamma-MAP 滤波等^[26]。本文经过反复试验,选择 Lee-sigma 滤波方式,以 5×5 窗口进行滤波。图像增强有利于突出目标与背景的差异,便于水体信息的判读。同时,对无人机遥感影像进行人工目视解译,得到实际的洪水淹没范围,以便于进行精度评价。

3 洪水淹没信息快速提取模型构建

灾中的 COSMO-SkyMed SAR 影像的水体信息包含了洪水淹没部分的水体信息和正常情况下的水体信息,本文首先研究利用面向对象的方法提取灾中 COSMO-SkyMed SAR 影像中所有的水体信息,然后研究利用多光谱影像的波段运算和决策树分类提取灾前 SPOT-5 影像中正常情况的水体信息,最后将 COSMO-SkyMed SAR 影像水体提取结果与 SPOT-5 光学影像水体提取结果进行差值运算,得到灾中洪水淹没的水体空间信息。整个洪水淹没信息的提取技术路线如图 3 所示。

3.1 面向对象的 COSMO-SkyMed SAR 影像的水体信息快速提取

雷达数据识别水体信息的传统方法多为基于像元级的阈值法^[27],阈值的选择决定了分类结果的好坏,该方法虽简单易行,但阈值往往难以准确确定,且基于像元级提取的水体信息多破碎化,其后处理操作也较复杂^[28]。不同类型的水体在空间形态和光谱特征上不尽相同,表现在雷达影像上的后向散

射特征自然也不尽相同,提取雷达影像上的水体信息并非单单用一个阈值就能达到很好的效果^[28]。

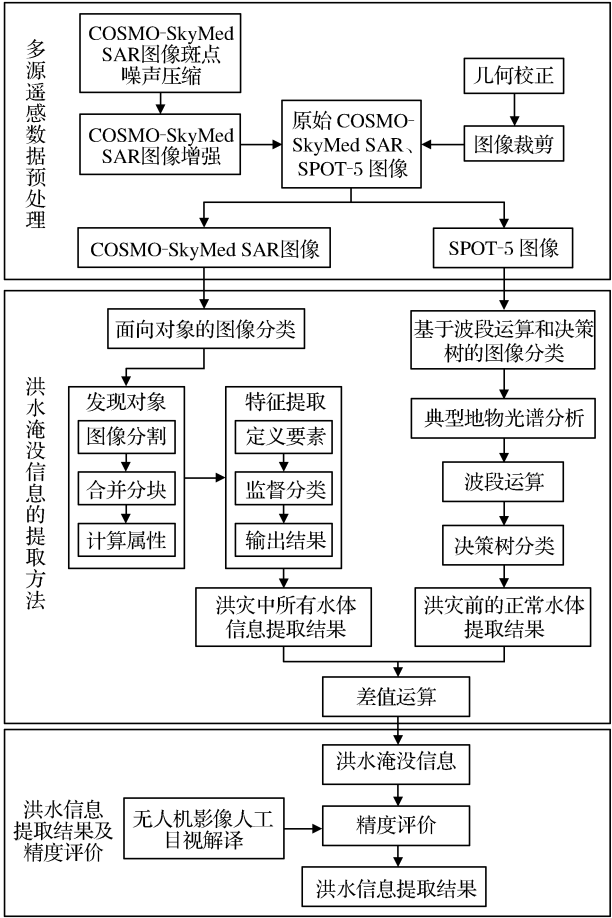


图 3 洪水信息提取技术路线

Fig.3 Flow chart of floods information extraction

面向对象图像分类技术是以临近像元组成的对象为分类单元,避免了提取结果的过度破碎化,且综合考虑了高分辨率数据的空间、光谱和纹理信息进行分割分类,更大限度地利用了图像信息,从而得到更高精度的分类结果^[29-31]。目前三大主流软件 eCognition、ERDAS Objective 模块和 ENVI EX Feature Extraction 模块都支持面向对象的分类方法。在 ENVI EX Feature Extraction 模块中采用了一种基于边缘的分割算法,只需输入一个参数就可产生多尺度的分割效果^[31],使对象分割更简单高效快捷;而 eCognition 等面向对象的分割算法中则需考虑分割尺度、波段权重、均质性因子、光滑度和紧密度等多个参数^[32],因此本文采用 ENVI EX Feature Extraction 模块进行面向对象的分类。面向对象的分类技术主要有发现对象和特征提取两个过程(图 3)。在发现对象过程中,图像分割尺度的选择是其关键部分,分割效果的好坏在一定程度上决定

了水体提取结果的精度^[31]。分割尺度越小,分出的图斑越多;尺度越大,分出的图斑越少(图 4)。为了减少图像分割中的错分和多分,该分类技术提供了合并分块的方法,该方法结合图像的光谱和空间信息通过迭代合并临近的小斑块^[31]。本文为了获得最佳的对象分割效果,分别试验了分割尺度为 10、20、30、40、50、60、70、80、90 合并尺度为 90 的分割效果,从图 5 的效果图中可以看出,在分割尺度 60、合并尺度 90 时效果最好,分割尺度低于 60 则所分对象过于琐碎,高于 60 则将不同类型的像元分为一个对象。在特征提取过程中,主要有 3 种分类方法:直接输出矢量、监督分类和规则分类。根据待分类对象的实际情况本文选择了简单有效的监督分类方法,以分割后的对象为基础定义监督分类的样本后,选择样本的空间、光谱或纹理等属性利用 K 邻近分类方法进行分类。 K 邻近分类方法是依据训练样本元素与待分类数据在 n 维空间的欧几里得距离

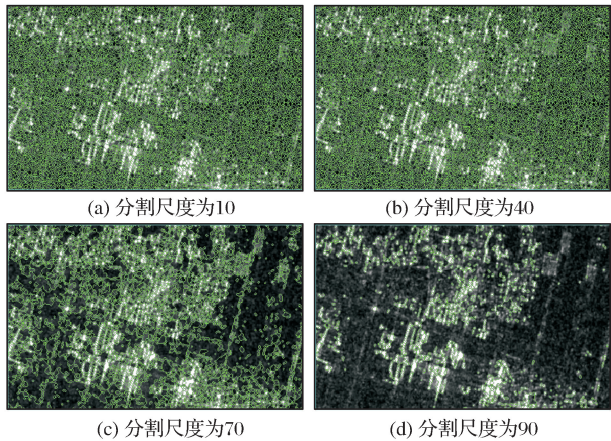


图 4 对象构建的分割效果

Fig.4 Segmentation effects of object-building

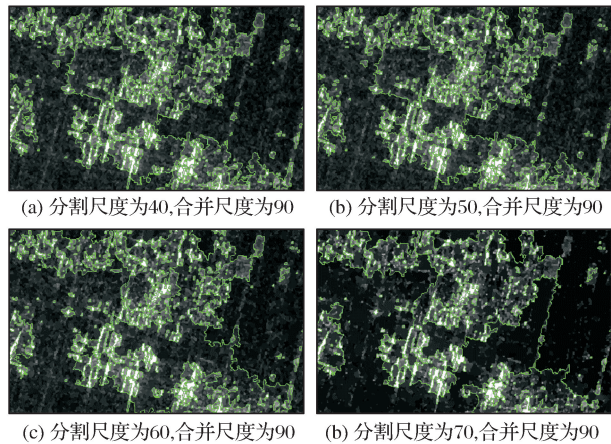


图 5 不同尺度的分割合并效果

Fig.5 Segmentation and combination effects of the different scales

进行分类,这种分类方法能够产生更小的噪声数据集和敏感异常,从而使分类结果更精确^[31]。参数 K 是一个经验值,一般设为 3、5 或 7,本文经过试验,将参数 K 设为 3。图 6 中浅蓝色区域为基于面向对象方法的 COSMO-SkyMed SAR 影像水体信息快速提取结果。

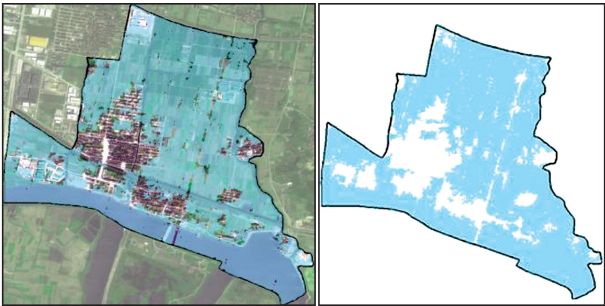


图 6 面向对象的 COSMO-SkyMed SAR 影像水体信息快速提取结果

Fig.6 Water information quick extraction results of the COSMO-SkyMed SAR image using object-oriented

3.2 波段运算和决策树分类的 SPOT-5 光学影像的水体信息快速提取

目前光学影像提取水体的方法主要有单波段阈值法、水体指数和谱间关系法等。单波段阈值法提取水体的原理是利用水体与背景地物在近红外或中红外某单一波段的反射率差异,选择最佳阈值实现水体与背景地物的分离,该方法虽简便易行但提取水体的精度往往不高^[33-35]。水体指数法利用水体同背景地物反射特性差异最大的两个波段进行代数运算,增大差异,并通过阈值分析提取其中的水体信息,该方法能够快速有效地提取出水体信息,如 NDWI、MNDWI、GNDWI、CIWI、EMI、NWI 等常见水体指数在水体提取方面都取得了较好的效果^[33-36]。但每种水体指数都有其适用性,且 SPOT-5 光学影像只有绿、红、近红和短波红外 4 个波段,只有像 NDWI 等少数水体指数可以应用,但 NDWI 提取水体时并没有考虑到建筑物与土壤的影响^[37],因此本文选择利用 SPOT-5 光学影像波谱间的波段运算,寻找该 SPOT-5 光学影像中水体区别于背景地物的逻辑规律,利用决策树分类的方法提取水体信息^[38]。该方法的基本原理是在分析已有地物光谱特征的基础上,以待分类地物独有的典型特征为判断条件对原始影像进行二分,逐步分类出该地物^[38]。研究区中主要有水体、植被、建筑用地 3 种地物,在选择 3 种地物的典型样本进行光谱统计(图 7)后发现只有水体的波谱响应曲线特征是 $\text{band2} <$

band1 且 band2<band3(图 7),可利用该特征作为判断条件进行决策树分类。图 8 中浅蓝色区域是基于波段运算和决策树分类方法的 SPOT-5 光学影像的水体信息快速提取结果。

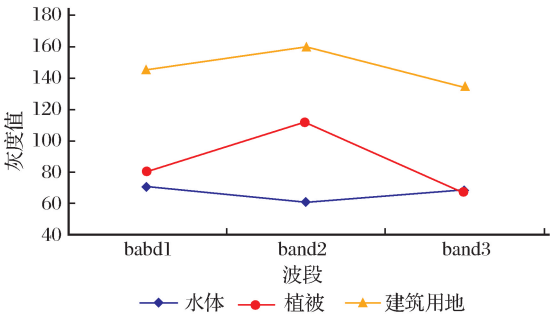


图 7 3 种典型地物的波谱响应曲线

Fig.7 Spectrum response curves of three typical features



图 8 波段运算和决策树分类的 SPOT-5 影像
水体信息快速提取结果

Fig.8 Water information quick extraction results of the
SPOT-5 image combining band math with
decision tree classification

3.3 COSMO-SkyMed SAR 影像水体提取结果与
SPOT-5 影像水体提取结果的差值运算

COSMO-SkyMed SAR 影像中提取的水体结果包含了洪水淹没的水体信息和正常情况的水体信息,SPOT-5 影像中提取的水体结果为正常情况的水体信息,对二者进行空间差值,获取洪水淹没的空间信息,如图 9 所示(浅蓝色区域为洪水淹没的空间信息)。

3.4 精度评价

在对遥感影像进行分类后,通常会选择一定的样本对分类精度进行估计。样本的采集方式通常有来自监督分类的训练样区、专门选定的试验场和随机取样 3 种方式^[39]。本文采用随机取样的方式,随机选取 300 个样点建立混淆矩阵计算分类的总体精度,对洪水淹没信息的提取结果进行精度评价。混淆矩阵是一种常用的分类精度评价方法,是通过将

每种地表真实像元的位置和分类与分类图像中的相应位置和分类进行比较计算^[39]而获得分类精度。总体精度的公式为:

$$P_i = \sum_{k=1}^n P_{kk} / P$$
 (1)

其中: P_i 为被分类的第 i 种地物的总体精度, P_{kk} 为被正确分类的像元个数, P 为总像元个数。

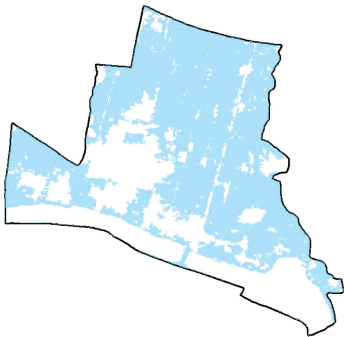


图 9 洪水淹没的水体空间信息

Fig.9 Water Spatial information of floods inundation

4 洪水淹没信息提取结果及讨论

4.1 洪水淹没信息的提取结果及精度评价结果

将洪水淹没的水体空间信息(图 9)制成专题图(图 10),得到洪水淹没信息快速提取的最终结果。经过精度评价,得到洪水淹没信息提取结果的总体分类精度为 93.67%。

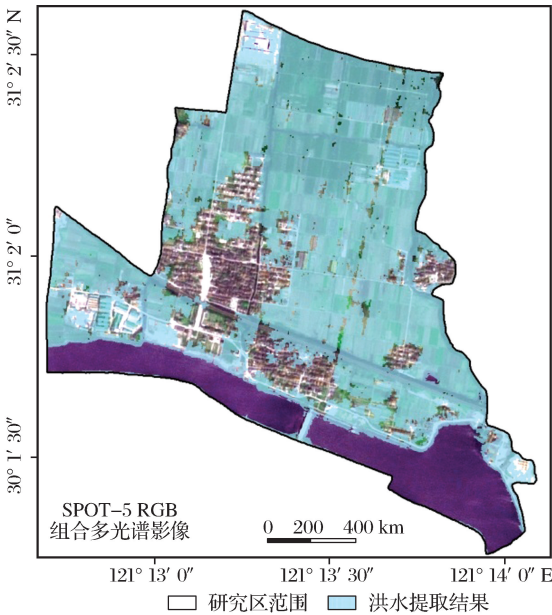


图 10 余姚地区洪水淹没信息专题图

Fig.10 The thematic map of floods inundation information

4.2 洪水信息快速提取的讨论

本文提取的洪水淹没信息的总体精度虽达到了

93.67%,但在整个洪水信息快速提取过程中仍存在一定的缺陷。首先,在面向对象快速提取水体信息的过程中,分割阈值和分类参数的选择较为主观,需要更深入的研究更客观的判定指标;其次,在波段运算和决策树分类的过程中,由于研究区的特殊性,在进行典型地物的波谱统计时只选择了 3 种地物,且水体在波谱上表现出的特性也不具有普遍性,在不同的研究区需重新选择典型地物进行波谱统计,寻找新的特征信息。

5 结 语

本文利用 COSMO-SkyMed SAR 影像、SPOT-5 多光谱光学影像和无人机影像等多源遥感数据快速提取出了 2013 年 10 月 12 日余姚地区的洪水淹没空间信息,总体精度达到 93.67%。COSMO-SkyMed SAR 影像具有穿透迷雾、全天时全天候的成像优势,SPOT-5 光学影像具有多光谱、高空间分辨率的优势,无人机影像能清楚地拍摄洪水实际淹没情况,结合不同平台、不同尺度的多源遥感数据的优势,能够高效快速地提取出洪水淹没信息,从而更好地服务于洪灾的防治、监测与灾情评估。此外,本文在水体信息提取方法上仍存在一定的缺陷,需要进一步研究更为客观准确的水体提取方法,争取该模型能够更好地为抢险救灾提供支撑服务。

参考文献(References):

[1] Sanyal J, Lu X X. Application of Remote Sensing in Flood Management with Special Reference to Monsoon Asia: A Review[J]. *Natural Hazards*, 2004, (33): 283-301.

[2] Liu Tong, Yan Tianchi. Main Meteorological Disasters in China and Their Economic Losses[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2011, 20(2): 90-95. [刘彤, 闫天池. 我国的主要气象灾害及其经济损失[J]. *自然灾害学报*, 2011, 20(2): 90-95.]

[3] Yang Cunjian, Zhou Chenghu. Application of Complementary Information of RADARSAT SWA SAR and Landsat TM in Deciding the Flood Extent[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2001, 10(3): 43-50. [杨存建, 周成虎. 利用 RADARSAT SWA SAR 和 Landsat TM 的互补信息确定洪水水体范围[J]. *自然灾害学报*, 2001, 10(3): 43-50.]

[4] Dai Changda, Tang Lingli, Chen Gang, *et al.* The Theory and Practice on Monitoring and Assessment of Forest Fire, Forest Insect and Flood Damage by TM Imagery[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1993, 8(2): 107-110. [戴昌达, 唐伶俐, 陈刚, 等. 应用 TM 图像监测及评估林火、虫灾和洪涝灾害的理论与实践[J]. *环境遥感*, 1993, 8(2): 107-110.]

[5] Sheng Yongwei, Xiao Qanguang, Chen Weiyang. Application of FY-1B Meteorological Satellite Data to Monitor the Flood

Disaster in Huaihe River Basin in Summer, 1991[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1994, 9(3): 228-233. [盛永伟, 肖乾广, 陈维英. 应用 FY-1B 气象卫星监测 1991 年江淮洪水的研究[J]. *环境遥感*, 1994, 9(3): 228-233.]

[6] Zhou Chenghu, Du Yunyan, Luo Jiancheng. A Description Model based on Knowledge for Automatically Recognizing Water from NOAA/AVHRR[J]. *Journal of Natural Disasters*, 1997, 6(4): 100-108. [周成虎, 杜云艳, 骆剑承. 基于知识的 AVHRR 影像的水体自动识别方法与模型研究[J]. *自然灾害学报*, 1997, 6(4): 100-108.]

[7] Yang Cunjian, Wei Yiming, Chen Deqing. Investigation on Extracting the Flood Inundation Area from JERS-1 SAR Data[J]. *Journal of Natural Disasters*, 1998, 7(3): 43-50. [杨存建, 魏一明, 陈德清. 基于星载雷达的洪水灾害淹没范围获取方法探讨[J]. *自然灾害学报*, 1998, 7(3): 43-50.]

[8] Tian Yugang, Liao Xiaolu, Zhang Changxing. Method on Crop Inundated Time Extraction after Rainstorm Using Time Series MODIS Images[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2012, 27(5): 778-783. [田玉刚, 廖小露, 张长兴. 基于时间序列 MODIS 影像的暴雨后作物淹没历时提取方法[J]. *遥感技术与应用*, 2012, 27(5): 778-783.]

[9] Xu Chuan, Hua Feng, Kui Haigang, *et al.* Automatic Water Segmentation Method in SAR Images Using Multi-scale Level Set[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(1): 27-31. [徐川, 华凤, 哇海刚, 等. 多尺度水平集 SAR 影像水体自动分割方法[J]. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2014, 39(1): 27-31.]

[10] Luo Hua, Lei Bin, Hu Yuxin. An Extraction and Identification Method of Water and Shadow for Airborne InSAR[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2014, 29(2): 258-263. [罗华, 雷斌, 胡玉新. 一种机载 InSAR 水体阴影的提取和识别方法[J]. *遥感技术与应用*, 2014, 29(2): 258-263.]

[11] Wang Yafei, Cheng Liang, Li Manchun, *et al.* Extraction of Water Areas based on Similarity Analysis Using Pixel-level SAR Image Time Series[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2014, 26(3): 67-73. [王亚飞, 程亮, 李满春, 等. 基于像元级 SAR 图像时间序列相似性分析的水体提取[J]. *国土资源遥感*, 2014, 26(3): 67-73.]

[12] Matgen P, Schumann G, Henry J B, *et al.* Integration of SAR-derived River Inundation Areas, High-precision Topographic Data and A River Flow Model Toward Near Real-time Flood Management[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2007, 9: 247-263.

[13] Natalia K, Andrii S, Serhiy S. Grid System for Flood Extent Extraction from Satellite Images[J]. *Earth Science Information*, 2008, 1: 105-117.

[14] Matgen P, Hostache R, Schumann G, *et al.* Towards an Automated SAR-based Flood Monitoring System Lessons Learned from Two Case Studies[J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2011, 36: 241-252.

[15] Claudia K, Guo H D, Juliane H, *et al.* Flood Mapping and Flood Dynamics of the Mekong Delta Envisat-Asar-WSM

- based Time Series Analyses[J]. Remote Sensing, 2013, 5(2): 687-715.
- [16] Biswajeet P, Ulrike H, Tehrany M S, *et al.* An Easy to Use ArcMap based Texture Analysis Program for Extraction of Flooded Areas from TerraSAR-X Satellite Image[J]. Computers and Geosciences, 2014, 63: 34-43.
- [17] Ward D P, Petty A, Setterfield S A, *et al.* Floodplain Inundation and Vegetation Dynamics in the Alligator Rivers Region (Kakadu) of Northern Australia Assessed Using Optical and Radar Remote Sensing[J]. Remote Sensing of Environment, 2014, 147: 43-55.
- [18] Li N, Wang R, Liu Y B, *et al.* Robust River Boundaries Extraction of Dammed Lakes in Mountain Areas after Wenchuan Earthquake from High Resolution SAR Images Combining Local Connectivity and ACM[J]. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2014, 94: 91-101.
- [19] Blanco-Vogt A, Schanze J. Assessment of the Physical Flood Susceptibility of Buildings on A Large Scale-conceptual and Methodological Frameworks[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2014, 14: 2105-2117.
- [20] Powell S J, Jakeman A, Croke B. Can NDVI Response Indicate the Effective Flood Extent in Macrophyte Dominated Floodplain Wetlands? [J]. Ecological Indicators, 2014, 45: 486-493.
- [21] Tsanis I K, Seiradakis K D, Daliakopoulos I N, *et al.* Assessment of GeoEye-1 Stereo-pair-generated DEM in Flood Mapping of an Ungauged Basin[J]. Journal of Hydroinformatics, 2014, 16: 1-18.
- [22] Manavalana R. DEM and SAR Image based Flood Feature Extraction Techniques to Map the Deep and Shallow Flood Inundated Regions of Known as well as Remote Disaster Regions [J]. Geocarto International, 2014, 29(7): 745-757.
- [23] Dumitru C O, Cui S Y, Faur D, *et al.* Data Analytics for Rapid Mapping Case Study of a Flooding Event in Germany and the Tsunami in Japan Using Very High Resolution SAR Images [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2014, 8(1): 114-129.
- [24] Elbially S, Mahmoud A, Pradhan B, *et al.* Application of Spaceborne Synthetic Aperture Radar Data for Extraction of Soil Moisture and Its Use in Hydrological Modelling at Gottleuba Catchment, Saxony, Germany[J]. Journal of Flood Risk Management, 2014, 7(2): 159-175.
- [25] Zheng Wei, Liu Chuang, Cao Yungang, *et al.* Extracting the Flood Inundated Area based on ASAR and TM Image[J]. Science of Surveying and Mapping, 2007, 32(5): 180-181. [郑伟, 刘闯, 曹云刚, 等. 基于 ASAR 与 TM 图像的洪水淹没范围提取[J]. 测绘科学, 2007, 32(5): 180-181.]
- [26] Senthilnath J, Vikram S H, Ritwik R, *et al.* Integration of Speckle De-noising and Image Segmentation Using Synthetic Aperture Radar Image for Flood Extent Extraction[J]. Journal of Earth System Science, 2013, 122: 559-572.
- [27] Pulvirenti L, Chini M, Pierdicca N, *et al.* Flood Monitoring Using Multi-temporal COSMO-SkyMed Data Image Segmentation and Signature Interpretation[J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115: 990-1002.
- [28] Shen Jinxiang, Yang Liao, Chen Xi, *et al.* A Method for Object-oriented Automatic Extraction of Lakes in the Mountain Area from Remote Sensing Image[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2012, (3): 84-91. [沈金祥, 杨辽, 陈曦, 等. 面向对象的山区湖泊信息自动提取方法[J]. 国土资源遥感, 2012, (3): 84-91.]
- [29] Zhong Y F, Zhao J, Zhang L P, *et al.* A Hybrid Object-oriented Conditional Random Field Classification Framework for High Spatial Resolution Remote Sensing Imagery[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2014, 52(11): 7023-7037.
- [30] Jiao X F, Kovacs J M, Shang J L, *et al.* Object-oriented Crop Mapping and Monitoring Using Multi-temporal Polarimetric Radarsat-2 Data[J]. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2014, 96: 38-46.
- [31] Deng Shubin. Remote Sensing Image Processing Method of ENVI[M]. Beijing: Science Press, 2010. [邓书斌. ENVI 遥感图像处理方法[M]. 北京: 科学出版社, 2010.]
- [32] Hao Lüyuan. A Research on High Resolution Remote Sensing Images Object-oriented Classification based on Texture Analysis[D]. Beijing: Beijing Normal University, 2014. [郝虑远. 基于纹理分析的高分辨率影像面向对象分类研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2014.]
- [33] Wang Qingqing, Yu Ming. Study on Information Extraction of Water Body based on Simple Ratio of Water Index (SRWI) [J]. Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition, 2014, 30(1): 39-44. [王晴晴, 余明. 基于简单比值型水体指数 (SRWI) 的水体信息提取研究[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2014, 30(1): 39-44.]
- [34] Zhou Yi, Xie Guanglei, Wang Shixin, *et al.* Information Extraction of Thin Rivers around Built-up Lands with False NDWI[J]. Journal of Geo-information Science, 2014, 16(1): 102-107. [周艺, 谢光磊, 王世新, 等. 利用伪归一化差异水体指数提取城镇周边细小河流信息[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(1): 102-107.]
- [35] Zhu Baoshan, Zhang Shaohua, Xu Dalong, *et al.* Comprehensive Water Index and Its Application[J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2013, 30(1): 19-23. [朱宝山, 张绍华, 徐大龙, 等. 综合水体指数及其应用[J]. 测绘科学技术学报, 2013, 30(1): 19-23.]
- [36] Shen Zhanfeng, Xia Liegang, Li Junli, *et al.* Automatic and High-precision Extraction of Rivers from Remotely Sensed Images with Gaussian Normalized Water Index[J]. Journal of Image and Graphics, 2013, 18(4): 421-428. [沈占锋, 夏列钢, 李均力, 等. 采用高斯归一化水体指数实现遥感影像河流的精确提取[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(4): 421-428.]
- [37] 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.]

[38] Safavian S R, Landgrebe D. A Survey of Decision Tree Classifier Methodology [J]. IEEE Transaction System Man Cybern, 1991, 21: 660-674.

[39] Sun Jiabing. Principles and Applications of Remote Sensing [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2011. [孙家炳. 遥感原理与应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2011.]

A Research on Town Flood Information Rapid Extraction based on COSMO-SkyMed and SPOT-5

Wang Jiapeng^{1,2}, Liu Ting^{1,2}, Yu Zhiqiang³, Hu Tangao^{1,2},
Zhang Dengrong^{1,2}, Xun Dandan^{1,2}, Wang Donghei⁴

(1. *Institute of Remote Sensing and Earth Sciences, Hangzhou Normal University, Hangzhou 311121, China*
2. *Zhejiang Provincial Key Laboratory of Urban Wetlands and Regional Change, Hangzhou 311121, China*;
3. *Geographic Information Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310012, China*;
4. *CETC Ocean Information Co., Ltd, Beijing 100043, China*)

Abstract The flood is one of the most frequent natural disasters in our country, and how to get flooded areas quickly and accurately is of great significance in the disaster relief work. At present, the satellite remote sensing technology has been widely used on the study of floods information extraction. Different remote sensing data sources have their own advantages and disadvantages in floods information extraction, so this paper synthetically studies superiority and inferiority of the radar image and the visible light image, modeling floods information quick extraction based on multi-source remote sensing data. First of all, extract the spatial information of water on the COSMO-SkyMed radar image during floods using the object-oriented method; Secondly, extract the spatial information of normal water on the SPOT-5 high resolution optical image before floods combining band math of the multispectral image with decision tree classification; Finally, the flood submerging range is obtained by using differential technology of water spatial information extracted from SPOT-5 before floods and COSMO-SkyMed during floods, and then assess accuracy of final results using UAV (Unmanned Aviation Vehicle) remote sensing images taken on the same day of the COSMO-SkyMed radar image. Applied to Yuyao's floods in Zhejiang in 2013, this model is able to get floods submerging scope quickly, and the extracting accuracy reaches 93.7%. Furthermore, the model will provide strong technical support and basic data information for flood control and flood fighting and disaster relief work.

Key words: COSMO-SkyMed; SPOT-5; Flood submerging range; Object-oriented; Difference operation