

谢秋霞, 张佳晖, 陆坤, 等. 基于典型遥感影像融合方法的洪水信息精确提取研究与应用[J]. 灾害学, 2017, 32(1): 183-186, 204. [XIE Qiuxia, ZHANG Jiahui, LU Kun, et al. Research and application of flood submerged information precise extraction based on typical remote sensing image fusion method [J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(1): 183-186, 204. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.01.032.]

基于典型遥感影像融合方法的洪水 信息精确提取研究与应用*

谢秋霞¹, 张佳晖², 陆坤¹, 孙云晓², 张琳琳³

(1. 山东科技大学 测绘科学与工程学院, 山东 266590; 2. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100094;
3. 三亚中科遥感研究所, 三亚 572000)

摘要: 洪涝灾害监测是遥感应用领域的重要研究方向之一, 快速精确提取洪水信息, 是洪涝灾害监测亟待解决的关键问题。该文选用 HIS 变换法、小波变换法和 Gram-Schmidt (GS) 变换法, 三种典型融合方法突出洪水专题信息, 从影像融合的空间信息融入度和光谱信息保真度对融合结果进行精度评价, 选出最优融合方法。其次, 利用单波段彩色密度分割法, 达到快速提取洪水专题信息的目的。最后, 创新提出, 利用 GS 和小波变换相结合的彩色密度分割法, 精确提取洪水信息。结果表明: 小波变换法融合图像的第 1 波段具有最高信息融入度和光谱保真度, 提取洪水淹没范围精度最高, 为最优融合方法; 在亟需高精度、快速洪水监测制图和应用分析中, GS 和小波变换相结合的彩色密度分割法, 优于单一小波变换的彩色密度分割法方法, 提取效果更好。

关键词: 洪涝灾害; 遥感; 影像融合; 洪水信息; 精确提取

中图分类号: 43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2017)01-0183-05

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.01.032

洪灾是一种高发性强, 发生频率高, 危害极大的自然灾害。因此, 对洪水信息进行快速有效的监测, 对政府部门制定抗洪防灾政策, 水利设施规划与建设等具有重要意义。洪水的发生大多具有一定的突然性, 持续时间短, 灾害的地理位置易于辨识^[1]。为及时监测与评估洪涝灾情, 首要任务便是准确快速地提取洪水淹没信息。

遥感监测以其速度快、时效性强、视野广阔等特点逐渐成为现代洪水监测中的主要手段^[2], 但鉴于不同传感器的设计初衷不同, 使其在获取地表信息时有着各自无法替代的优势。如光学多光谱影像可捕捉同一时刻、大范围的地面影像, 但碍于观测周期限制, 洪水期间多云雨, 导致无法及时获取实时的受灾影像^[13]。雷达影像恰恰弥补了光学影像之不足, 可以提供洪水淹没区的最新影像, 而不受恶劣天气影响, 但仅凭单幅雷达影像提取水体信息的精度不高^[3]。目前解决时效性与信息提取精度之间矛盾的常用手段是利用多传感器影像融合技术。通过对灾前光学多光谱影像和灾中雷达影像的特征信息进行快速融合, 可

有效抑制雷达影像中的非水体地带和未淹没区域, 突出洪水淹没细节^[4], 提高洪水目标的识别度以及信息提取的有效性。

本文重点讨论了 HIS 变换法、小波变换法和 Gram-Schmidt 变换法, 三种典型融合算法在融合 TM 影像与 SAR 影像结果上的不同表现, 并在最优融合图像的基础上, 利用 GS 和小波变换相结合的单波段彩色密度分割法, 实现了淮河中游地区洪水信息的有效快速提取。

1 研究区及数据源

淮河中游地区地处亚热带和暖温带的过渡带, 大陆性季风气候显著, 极易造成洪涝灾害^[11]。淮河中游地区是我国重要的农业生产区之一, 也是洪灾高发地区之一^[11]。本研究选取淮河中游地区作为研究区, 地理位置 32°40'N, 116°55'E。灾前数据选用 2002 年 9 月 22 日的 Landsat-TM 影像, 空

* 收稿日期: 2016-05-19 修回日期: 2016-07-01

基金项目: 三亚市专项科研试制项目(2015KS14); 海南省科技合作专项资金项目(KJH2015-14); 国家自然科学基金(41471310)

第一作者简介: 谢秋霞(1990-), 女, 山东泰安人, 硕士, 研究方向为遥感技术与应用、定量遥感、微波遥感。

E-mail: 2238354146@qq.com

间分辨率 28.5 m。淮河流域洪涝灾害曾发生于 2003 年 7 月上中旬，因而灾中数据选用 2003 年 7 月 14 日携带地表土壤水分信息的 SAR 影像 C 波段，空间分辨率 20 m。

为保证融合影像的可利用性，提高洪水信息提取精度，需要对 Landsat-TM 和 SAR 影像进行预处理。Landsat-TM 影像预处理，包括大气纠正、几何校正和波段组合。大气纠正消除大气对地表洪水信息的干扰，获得反映真实洪水信息的数据。几何纠正使 Landsat-TM 影像和 SAR 影像保持空间一致性，便于进行影像空间配准和影像融合处理。通过波段组合，选取最能反映洪水信息的波段。本研究选择了 TM5、TM4 和 TM3 波段，即中红外 (R)、近红外(G)、红波段(B)，进行图像融合和提取洪水信息。SAR 影像预处理，包括滤波处理、几何校正和影像增强。通过滤波处理消除斑点噪声影响，提高洪水信息提取精度。

2 基于典型遥感影像融合方法的洪水信息精确提取技术路线

基于典型遥感影像融合方法的洪水信息快速提取的技术路线如图 1 所示。主要步骤是对 Landsat-TM 和 SAR 影像进行预处理，并进行空间配准，利用三种典型融合方法对 Landsat-TM 和 SAR 影像进行融合，利用信息熵和光谱扭曲程度，定量评价三种融合方法的信息融入度和光谱信息保真度，从而优选出最优融合方法，最后，利用单一融合方法的密度分割快速提取洪水信息，并与两种融合法相结合提取的洪水信息进行对比，实现洪水信息快速精确的提取。

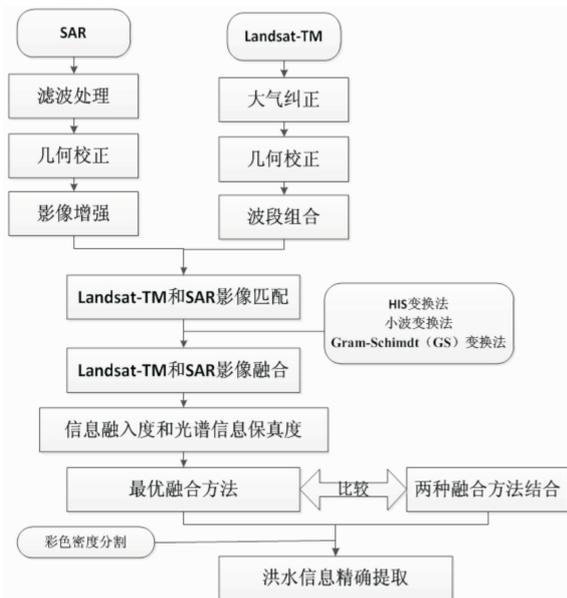


图 1 洪水信息精确提取技术路线

3 基于 Landsat-TM 与 SAR 的图像融合方法比较

3.1 图像融合方法

图像融合的目标，在于增强专题特征的识别能力，从而最大限度地提取专题特征信息^[5]。针对本研究，面向洪涝灾害应用的遥感影像融合的目的是：①在目视效果水平，突出显示洪水淹没区域，增强洪水过境前后的显示效果，便于决策分析；②融合多时相遥感数据，提高洪水淹没范围识别精度，提供变化检测能力。针对洪水灾害的特点，本文采用色彩空间变换法(HIS)、小波变换法(WT)、Gram-Schmidt 变换法(GS)对影像进行融合，并对融合效果进行比较。

HIS 变换是将 RGB 图像分离成代表空间信息的强度 I 分量和代表光谱信息的色调 H 和饱和度 S 分量，用高分辨率影像替换掉强度 I 分量，再经 HIS 反变换，将替代后的 HIS 数据变换回 RGB 色彩空间生成融合图像^[6]。小波变换是通过小波域的变换实现影像的融合，先将全色波段影像进行小波分解，再用多光谱影像的低频信息代替 SAR 影像的低频信息，最后将代替后的影像通过小波逆变换得到融合影像。Gram-Schmidt 变换法与主成分变换类似，区别在于：主成分变换后信息在各成分之间重新分布，第一主成分包含的信息量最多，其它成分的信息量依次递减；而经 GS 法变换后的各个分量间只是正交，各分量所包含的信息量相差不大，因此 GS 法既可以较好地保留 TM 影像的光谱信息，又可以最大程度保留 SAR 影像的纹理信息^[7]。应用各种方法的融合结果见图 2。

3.2 融合效果评价

从图 3 可以看出，经 HIS 变换后的融合影像，水陆边界明显，对比于原始 TM 影像，但正常水体与洪水水体均显示为墨色，无法识别不同时相的范围变化，故该方法较不适宜以洪涝灾害为背景的融合应用。小波变换后图像中的正常水体为深蓝色，淹没区域为墨绿色，但图像整体色彩饱和度偏低，若用于后续制作专题地图，需进一步图像增强，提高目视效果。Gram-Schmidt 变换后图像在光谱保真方面的表现优于 HIS 和小波变换法，可以清晰辨识洪水淹没区域不同土地利用的光谱差异性，不同时相的水体特征也比较突出。

从多时相信息融合效果的角度评价，依次查看融合图像的各个波段。HIS 融合影像在各波段上的水体范围变化均不显著，而小波变换与 GS 变换后影像的变化信息集中体现在波段 1，灰度层次明显，正常水体与洪水水体目标可分离性强。该特点是由算法自身所决定，多传感器图像数据所有波段经主成分分析后，将相关特征空间变换为一

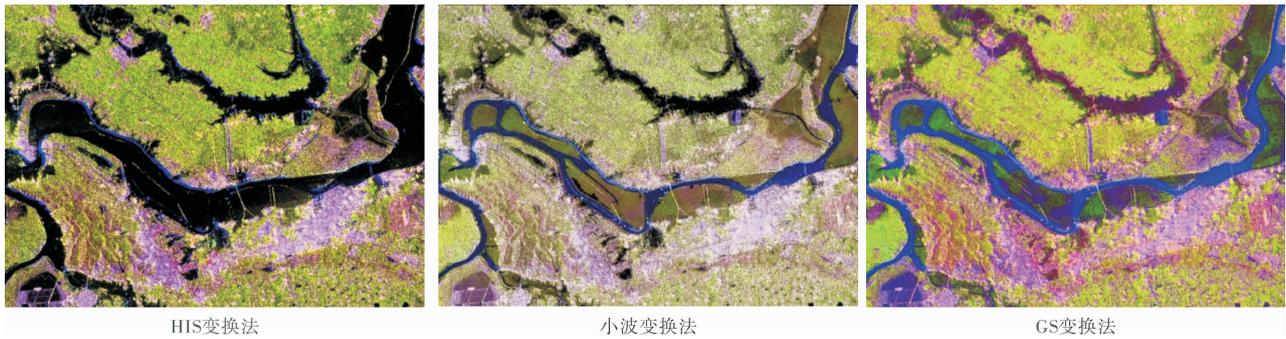


图2 TM与SAR影像融合结果比较

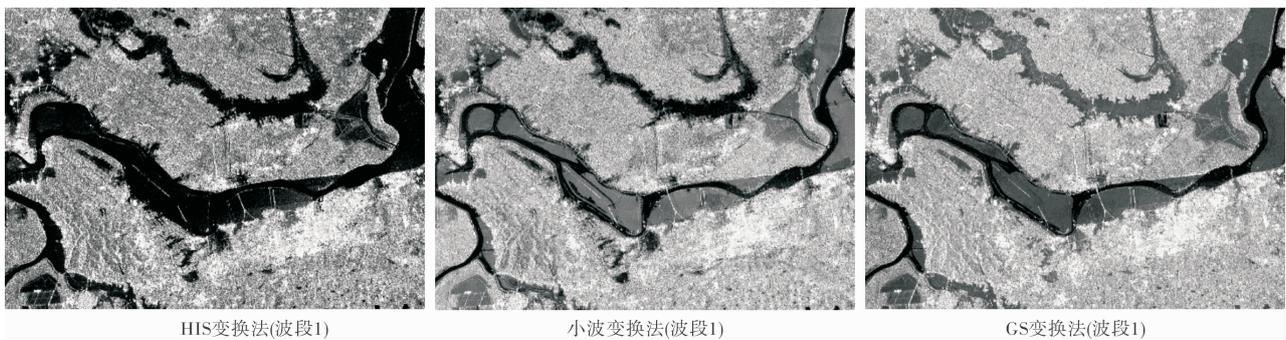


图3 单波段融合效果比较

组互不相关的成分, 这些成分分别保留了输入数据的不同特征。同一目标在不同时相的变化也将作为特征成分, 保存于特定波段, 由此便可以从某一波段内获得水体目标的变化信息。小波变换法在光谱保真度与信息融合度上更胜一筹, 具体表现在图3红圈位置处的正常水体(黑色), 而GS变换图像未能较好地保留此信息。综合以上分析, 可以初步得出定性结论: 小波变换法 > GS法 > HIS法。

对于定量评价, 已有研究借助信息熵和相关系数两项指标定量评价融合影像的空间信息融入效果^[8]。信息熵用于衡量一幅图像所含信息量的丰富程度, 信息熵越大, 表示融合图像的信息量增加, 融合质量越好。对于SAR影像, 相关系数表示融合影像的空间信息融入度, 值越大, 信息融入效果越好。应用不同融合方法获得的融合影像与原始影像的信息熵, 以及各波段影像与SAR影像的相关系数统计结果见表1。

表1 SAR影像与融合影像的定量指标统计结果

	信息熵			与SAR影像的相关系数		
	B1	B2	B3	B1-SAR	B2-SAR	B3-SAR
HIS	7.580	7.464	6.907	0.799	0.759	0.556
WT	6.652	6.258	6.032	0.708	0.677	0.629
GS	6.966	6.557	6.238	0.772	0.581	0.202

从表1可以看出, HIS融合图像各个波段的信息熵均大于其他方法所得图像; 小波变换法与GS法融合影像信息熵值近似, 且信息量随波段依次递减。整体而言, 应用不同方法所得结果在不同波段的信息量上无悬殊差别, 波段1所包含的信息

量略高于其他波段。从融合影像与SAR影像的相关系数上看, 应用不同融合方法的相关系数值均随波段呈递减趋势, 说明SAR影像在波段1的空间融入度最好, 目视效果优于2、3波段。横向比较同一方法中不同波段的信息融入度, 可以发现WT法虽然相关系数值存在递减, 但仍能保证波段3留有一定细节信息; 而GS法则在此方面表现不佳。故空间信息融入度评价结果为WT > HIS > GS。

光谱保真度评价方面, 选用光谱扭曲程度和相关系数两项评价指标。对于多光谱TM影像, 相关系数表示融合影像的光谱保真程度, 值越大, 光谱保真越好。光谱扭曲程度直接反映了光谱图像的光谱失真程度, 值越小, 说明光谱扭曲程度越低。应用不同融合方法获得的融合影像以及原始TM影像的定量指标统计结果详见表2。

表2 TM影像与融合影像的定量指标统计结果

	光谱扭曲程度			与TM影像的相关系数		
	B1	B2	B3	B1-TM1	B2-TM2	B3-TM3
HIS	74.954	74.774	61.341	0.317	0.307	0.377
WT	55.531	56.722	69.585	0.472	0.424	0.276
GS	64.205	57.587	46.423	0.257	0.458	0.654

从表2可以看出, HIS与GS法融合影像的光谱扭曲度随波段递减, 说明波段3光谱失真程度较波段1小; 而经小波变换法所得图像刚好与之相反, 波段1光谱扭曲度小, 随波段呈递增趋势, 结合表1信息熵计算结果, 可以分析得出WT融合图像的第1波段既具备较高信息融入度, 同时还具有低光谱失真程度的结论, 这是HIS法和GS法所不具备的。从融合影像与TM影像的相关系数上分

析,也可以得出同样的结论。HIS与GS法融合图像的第3波段相关系数值最高,说明其与多光谱TM影像有着最佳的相关性;而对于小波变换法,则是波段1。对照表1,可以发现HIS和GS法在融合效果上存在共性,即SAR影像细节信息被集中体现在波段1, TM影像光谱信息融合于波段3,导致高信息融入度与低光谱失真度的特性无法从单一波段上获取。而小波变换法则拥有这一优势,融合图像波段1在两类评价指标中,均表现较好,并从定量角度验证了定性结论。因此,小波变换融合方法更适合洪水信息提取。

4 洪水信息精确提取

图像融合的最终目的是为了提取洪水淹没范围信息。提取的方法主要有人工目视解译和自动提取(主要采用阈值法)^[9]。潘晓燕等^[10]对淮河灾后TM数据和灾中SAR数据作假彩色合成,并对结果进行水体信息掩膜与主成分变换,利用决策树分类法提取洪水淹没范围,正确率达90%,并且可以快速提取水体信息。本文采用彩色密度分割法对小波变换融合图像进行色彩分割,并依据经验知识,确定密度分割的层数(3层)和分割阈值,实现洪水信息的快速提取。

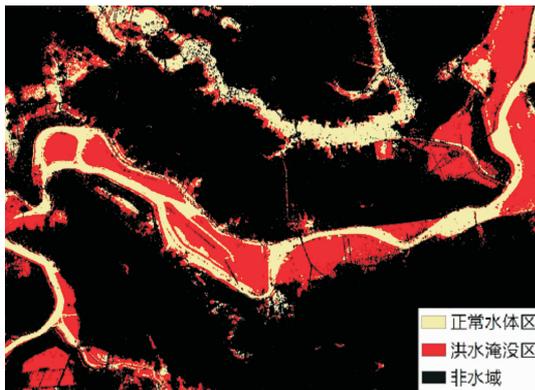


图4 洪水信息提取结果

小波变换图像非水域区存在大量与洪水灰度范围一致的椒盐像素,严重影响制图精度,而GS法融合图像灰度值在正常水体、洪水、非水域的可区分情况较好,容易分离出非水体区域^[12]。因此,本文创新性的使用两种融合方法,降低椒盐噪声影响,提高洪水信息提取精度。首先,对GS法融合图像进行色彩分割,使用非水域像素生成掩膜,覆盖掉小波变换图像中的非水体区,降低了噪声的影响,其次,利用最优融合方法——小波变换法,进行色彩分割,分别赋予不同颜色,最终得到洪水信息精确提取结果(图4)。从图4可以看出,非水域部分几乎没有噪声影响。结果表明,利用GS和最优融合方法——小波变化法相结合的方式,不仅突出影像高空间信息融入度和光谱

信息保真度特点,而且降低了噪声对洪水信息提取的影响,实现了洪水信息精确提取的目的。

5 结论

应用遥感图像融合技术解决了多光谱影像时效性难以满足需求的短板,以及单独使用SAR影像提取水体过程中所遇到的“多提”问题^[14]。通过对比三种典型图像融合方法,并进行定性定量评价,结果表明小波变换法融合图像的第1波段具有最高信息融入度和最低光谱失真度,增强了洪水专题信息与其他光谱接近地物之间的亮度差异,为最优洪水信息提取方法。同时研究还表明,在一些亟需精确洪水信息制图输出、以供决策分析的灾害领域中,GS方法可以降低加盐噪声影像,通过基于GS和小波变换相结合的方法,要优于单一小波变换融合方法提取结果,实现了洪水专题信息快速精确提取的目的。

参考文献:

- [1] 周成虎. 洪涝灾害遥感监测研究[J]. 地理研究, 1993, 12(2): 63-68.
- [2] 赵阳,程先富. 洪水灾害遥感监测研究综述[J]. 四川环境, 2012, 31(4): 106-109.
- [3] 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(2): 79-83.
- [4] 殷悦,宫辉力,赵文吉. 基于SAR影像的洪水淹没范围信息提取的研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2007, 30(4): 50-54.
- [5] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 222-223.
- [6] Zhang Yun. Understanding image fusion [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2004, 6: 657-661.
- [7] 黄剑,顾海. 基于Gram-Schmidt变换的QuickBird影像融合[C]//地理信息与物联网论坛暨江苏省测绘学会2010年学术年会论文集, 2010.
- [8] 负培东,曾永年,历华. 不同遥感影像融合方法效果的定量评价研究[J]. 遥感信息, 2007(4): 40-45.
- [9] 徐美,黄诗锋,李纪人. RS与GIS技术支持下的2003年淮河流域洪涝灾害快速监测与评估[J]. 水利水电技术, 2004, 35(5): 83-86.
- [10] 潘祖燕,宫阿都,周廷刚,等. 基于TM与SAR影像融合的洪水淹没范围提取研究[C]//Proceedings of 2010 International Conference on Remote Sensing (ICRS 2010), Volume 4, 2010.
- [11] 张宏群,范伟,苟尚培,等. 基于MODIS和GIS的洪水识别及淹没区土地利用信息的提取[J]. 灾害学, 2010, 25(4): 22-26.
- [12] 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.
- [13] 毛先成,熊靓辉,高岛·勋. 基于MOS-1b/MESSR的洪灾遥感监测[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(6): 685-689.
- [14] 余连生,李智勇,文贡坚,等. 遥感图像融合技术在潮间带地形提取中的应用[J]. 测绘学报, 2011, 40(5): 551-554.
- [15] 孟令奎,郭善昕,李爽. 遥感影像水体提取与洪水监测应用综述[J]. 水利信息化, 2012(3): 18-25.

(下转第204页)

- 干旱指数构建与识别[J]. 山地学报, 2016, 34(3): 282-289.
- [25] Wang Y, Chen X, Chen Y, et al. Flood/drought event identification using an effective indicator based on the correlations between multiple time scales of the Standardized Precipitation Index and river discharge[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2015, 17(5): 1-10.
- [26] Yevjevich V. Objective approach to definitions and Investigations of Continental Hydrologic Droughts[M]. Hydrology Paper23, Colorado State U, Fort Collins, 1967.
- [27] 冯平, 朱元甦. 径流调节下的水文干旱识别[J]. 自然科学进展, 1999, 9(9): 848-853.
- [28] 周玉良, 周平, 金菊良, 等. 基于供水水源的干旱指数及在昆明干旱频率分析中应用[J]. 水利学报, 2014, 45(9): 1038-1047.

Response of Hydrological Drought to Meteorological Drought and its Critical Conditions

WU Jiefeng¹, CHEN Xingwei^{1, 2, 3} and GAO Lu^{1, 2, 3}

(1. College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China; 2. Fujian Provincial Engineering Research Center for Monitoring and Assessing Terrestrial Disasters, Fuzhou 350007, China; 3. State Key Laboratory Breeding Base of Humid Subtropical Mountain Ecology, Fuzhou 350007, China)

Abstract: The response of hydrological drought to meteorological drought is an important subject for drought research. Taking the Jinjiang River basin which is located in southeastern China as the study area and based on the monthly streamflow and precipitation observed records from 1960 to 2010, the Standardized Precipitation Index (SPI) and Standardized Streamflow Index (SSI) were chosen to represent meteorological drought and hydrological drought, respectively. The run theory was used to identify the main drought events and their characteristics. The relationship between the characteristics of hydrological drought and meteorological drought were established with Logarithm function. Then the response of hydrological droughts to meteorological droughts was discussed and the concept of critical condition that meteorological drought evolved into hydrological drought was proposed. The results indicated that the SPI and SSI indices can effectively reflect the duration and magnitude of drought in Jinjiang River basin. The Logarithm function modeled well the relationship of the hydrological drought response to the meteorological drought. When the duration of meteorological drought were 1.45 months and magnitude reached 0.8, hydrological drought happened. The relationship is applicable to early warning of hydrological drought based on meteorological drought monitoring.

Key words: drought index; hydrological drought; meteorological drought; response characteristics; Logarithm function; critical condition; Jinjiang River basin

(上接第 186 页)

Research and Application of Flood Submerged Information Precise Extraction Based on Typical Remote Sensing Image Fusion Method

XIE Qiuxia¹, ZHANG Jiahui², LU Kun¹, SUN Yunxiao² and ZHANG Linlin³

(1. Geomatics College, Shandong University of Science and Technology, Shandong 266590, China; 2. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China; 3. Sanya Branch of Institute of Remote Sensing, Sanya 572000, China)

Abstract: Flood disaster monitoring is one of the important research directions in the field of remote sensing application. It is a key problem to be solved urgently to extract flood information rapidly and accurately. The HIS transform, wavelet transform method and Gram-Schmidt (GS) transform method were chosen in this paper. The flood thematic information was highlighted by using these image fusion methods. In order to select the best image fusion method, the accuracy of fusion results was evaluated in terms of the fidelity of spectral information and integration degree of spectral information. Secondly, the single band pseudo-color density segmentation method was carried out to achieve the purpose of rapid and efficient extraction flood thematic information. Finally, the new method of pseudo-color density segmentation method of coupling GS and wavelet transform was proposed, which was used to accurately extract flood information. The results show that wavelet transform image fusion is the most appropriate fusion method with the highest fidelity of spectral information and maximal integration degree of spectral information, accuracy is the highest; In high precision, rapid flood monitoring drawing and application analysis, pseudo-color density segmentation method of coupling GS and wavelet transform is better than that of single wavelet transform method, extraction effect is better.

Key words: flood disaster; remote sensing; image fusion; flood information; precise extraction