

# 基于遥感影像的黄河洪灾监测系统模型

余红伟<sup>①·②</sup>, 张艳宁<sup>②</sup>, 刘学工<sup>③</sup>, 韩琳<sup>②·③</sup>

(① 西北工业大学理学院, 西安 710072; ② 西北工业大学计算机学院, 西安 710072;

③ 黄河水利委员会信息中心, 郑州 450004)

**摘要:**基于多光谱遥感图像,提出了一种集河道主溜线自动检测、河势演变分析、洪水漫滩检测与分析评估功能于一体的黄河洪灾监测系统模型。论文首先对基于遥感图像的主溜线检测、河势演变检测、洪水漫滩检测原理与算法进行了详细描述;然后,利用遥感多光谱图像对所提出的检测算法进行了实验验证,最后对实验结果和系统模型进行了总结和分析。实验结果表明,本文提出的黄河洪灾监测模型具有重要的实用价值。

**关键词:**遥感图像;主溜线;河势;洪灾监测;漫滩

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.06.006

**中图分类号:** TP751      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-3177(2011)118-0028-05

## Yellow River Flood Monitoring System Model Based on Remote Sensing Image

SHE Hong-Wei<sup>①·②</sup>, ZHANG Yan-Ning<sup>②</sup>, LIU Xue-Gong<sup>③</sup>, HAN Lin<sup>②·③</sup>

(① School of Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072;

② School of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072;

③ Information Center of Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450004)

**Abstract:** A flood monitoring system model of Yellow River with multi-spectral remote sensing images is proposed in this paper. This model is a combination of analysis and evaluation functions of automatic main-stream detection, river regime variation analysis, and floodplain detection. In this paper, firstly, the principles and algorithm of the main-stream detection, river regime variation and floodplain based on remote sensing images are described in detail. Then, experiments based on multi-spectral remote sensing images are carried out to verify the detection algorithms. Finally, the results are analyzed and system model is built. Experimental results indicate that the model presented in this paper has important practical value in flood monitoring of Yellow River.

**Key words:** remote sensing image; main-stream; river regime; flood monitor; floodplains

### 1 引言

黄河是世界上最大的一条多泥沙河流,水患灾害十分严重。特别是下游河床演变极为复杂,泥沙淤积严重,河床抬升迅速,河势游荡多变,河道排洪能力逐年降低,是举世闻名的“地上悬河”<sup>[1]</sup>。由于河道淤积严重,中等洪水(3~5年一遇)即可能发生

洪水漫滩,防洪形势非常严峻。全面、及时、准确地掌握洪水演进及影响范围,及时对受灾情况做出评估,对于防汛指挥调度、迁安救护、最大程度地避免或减少洪水灾害损失至关重要。

对黄河洪水的常规监测方式是通过水文站网获取实测数据,这些数据是点特征信息,对于洪水灾情很难迅速做出全局性监测与评估。利用遥感技术可

收稿日期:2010-12-20      修订日期:2011-01-18

基金项目:国家自然科学基金(No. 60872145);教育部高等学校科技创新工程重大项目培育资金项目(No. 708085)。

作者简介:余红伟(1970~),男,陕西商洛人,讲师,博士生,主要研究方向:遥感图像处理,算法分析与设计。

E-mail: shehw@nwpu.edu.cn

获取大范围的洪水图像信息,及时掌握河势变化及洪水漫滩情况,可以为防洪决策和减灾救灾提供有力支持。目前已有许多研究者利用遥感影像对黄河洪灾检测<sup>[2~3]</sup>及洪灾损失评估进行了研究<sup>[4~5]</sup>,但是大多数研究主要是局限在洪灾范围调查及灾害损失评估方面,关于洪灾监测则主要是基于地面水文数据。

主溜线是河道中动量最大、流速最快的一股水流<sup>[6]</sup>,其位置的变化对防洪决策具有非常重要的意义。黄河下游游荡性河段,河势变换频繁,而河势变化是洪灾监测和防洪决策的关键<sup>[7]</sup>。

本文提出了一种基于遥感图像,集主溜线自动检测、河势变化检测分析、洪水漫滩检测分析与评估功能于一体的黄河洪灾监测模型,并对主要功能进行了实验验证。论文第二部分对基于遥感影像的洪灾监测模型及基本原理进行了论述;第三部分给出了相关实验及分析;第四部分是结论和展望。

## 2 基于遥感影像的洪灾监测模型

### 2.1 主溜线检测

主溜区域的水流流动凶猛,并常伴有波浪和泥沙,对坝岸的冲击非常大。河流主溜线位置的确定,对预测河势变化,制定防洪决策具有重要的指导意义。传统的主溜线确定方法是在汛前和汛后进行人工实地勘测,不仅费时费力,而且不能及时掌握主溜动态变化情况。

在对主溜线的各种物理特性进行充分分析的基础上,我们已经提出了几种基于遥感图像进行主溜线提取的算法<sup>[8~10]</sup>,下面仅对基于光谱相似性主溜演进原理的主溜线提取算法的基本思想做大致介绍。

#### 2.1.1 光谱相似性主溜演进算法基本原理

由于主溜区域水流流速更大,泥沙含量更高,水浪波动更凶猛,主溜区域与非主溜区域的光谱特性有一定的差异,因此可以利用光谱特性进行主溜识别。本文采用的光谱相关系数度量方法原理如下:设  $X=(x_1, x_2, \dots, x_N), Y=(y_1, y_2, \dots, y_N)$  是两个不同的光谱向量,  $N$  是波段数,则光谱相关系数定义为:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

其中

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (2)$$

另外,遥感图像一般都具有空间连续性,也就是说如果一个像元表示了某种物质,那么其相邻像元极有可能是同一种物质。显然,主溜区域在遥感图像中具有空间连续性特征,基于以上原理,结合河流流动方向,可以给出主溜动态演进模型如图 1 所示:

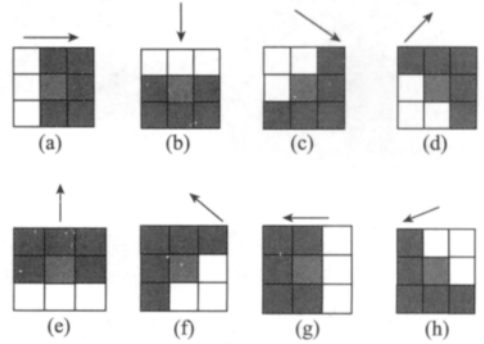


图 1 主溜动态演进的 8 种基本模型

在图 1 的每种模型中,箭头方向为当前位置河流流动方向,每个方格表示一个像元,其中红色方格代表当前主溜点,蓝色方格则为下一个主溜候选点,在演进过程中,我们可以选择与当前红色点光谱最相近的一个蓝色点作为下一个主溜点,依次类推。

#### 2.1.2 基于光谱相似性主溜演进原理的主溜线检测算法

根据上述原理,可以给出如图 2 所示的主溜线检测算法基本步骤:

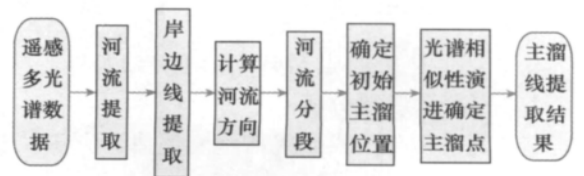


图 2 主溜线检测算法基本步骤

在上述算法描述中,初始主溜位置的选择可以通过对大量主溜区光谱样本的训练,从河流入口处选择一个与主溜参考光谱最相似的像元做为初始主溜位置。

### 2.2 河势演变分析

主溜线位置的变化可以反映河势的变化情况,在黄河中下游游荡性河段中,主溜变化非常频繁,及时检测主溜变化并根据主溜变化情况分析河势演变对防洪监测非常重要。随着国家高分辨率对地观测系统的不断完善,高时间分辨率的遥感图像将为及时掌握河势演变提供数据保障。

本文在主溜线检测的基础上,通过河湾参数的

计算来反映河势的变化情况。在河湾参数的计算中采用空间实际距离进行度量,假定  $d_p$  是两个像元之间的欧氏距离,  $r_s$  是图像的空间分辨率,则实际距离  $d$  的计算公式为:

$$d = d_p * r_s \quad (3)$$

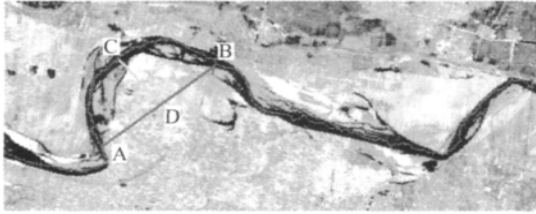


图3 河湾参数计算示意图

图3是河湾参数的计算示意图,其中A点是河湾的入射点,B点是河湾的出射点,C点是河湾弯顶,D点是河湾的弦中点。可以定义如下的3个河湾参数:弦长  $d_{sl}$ ,弦高  $d_{sh}$ 和弯曲系数  $k_a$ 。

弦长  $d_{sl}$ 的计算公式为:

$$d_{sl} = d_{AB} * r_s \quad (4)$$

其中,  $d_{AB}$ 是从点A到点B间的欧氏距离。

弦高  $d_{sh}$ 可以定义为:

$$d_{sh} = d_{CD} * r_s \quad (5)$$

其中,  $d_{CD}$ 是从弦的中点C到弧顶点D之间的欧氏距离。

弯曲系数  $k_a$ 用来描述河弯弯曲程度,  $k_a$ 的计算公式为:

$$k_a = \frac{l_{ACB}}{d_{AB}} \quad (6)$$

其中,  $l_{ACB}$ 是从A点到B点的主溜线长度。

### 2.3 洪水漫滩分析

基于遥感图像的洪水漫滩检测评估算法基本步骤如下:

- (1)利用漫滩前的遥感影像提取河流本底水体信息;
- (2)提取漫滩后的遥感图像中水域信息;
- (3)根据水域变化检测,则得到洪水漫滩区域;
- (4)识别漫滩位置、计算漫滩面积;
- (5)结合GIS信息、漫滩区域社会、经济发展及耕地统计信息数据库分析统计漫滩范围内受灾居民点及人口数量、受淹的土地面积、农作物类型、淹没建筑、道路、桥梁数量,估算灾害损失,为救灾决策和灾后重建提供支持。

### 2.4 洪灾监测模型

通过以上功能分析,本文给出如下的洪灾监测模型如图4:

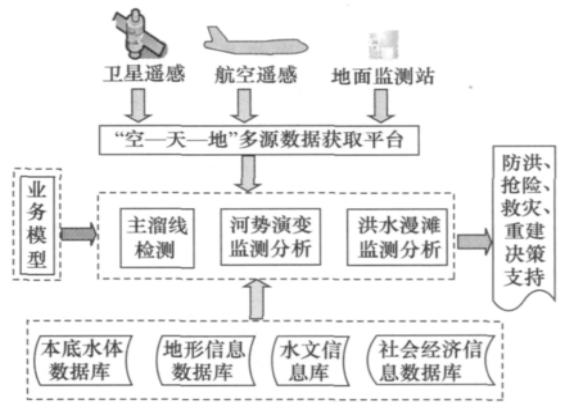


图4 洪灾监测模型

该系统可以利用“空一天”遥感数据及地面水文数据等,实现对洪灾的监测、预警及洪灾评估分析等功能,为防洪、抢险、救灾指挥、灾后重建等提供决策支持。系统主要功能描述如下:

- (1)辅助数据库构建:在该系统中,需要建立本底水体数据库,地形信息数据库,水文信息数据库,社会经济信息数据库作为系统的辅助支持;
- (2)数据获取:该系统的数据库源包括星载和机载遥感数据,地面监测站点数据(含水文数据等);
- (3)主溜线解译:系统能够根据遥感数据自动检测出河道主溜位置,并对险工设置等提供决策支持;
- (4)河势监测:通过不同时期的主溜线、水边线等位置的比较,计算河湾参数,分析控导工程靠溜情况、河势变化情况,为防洪决策提供支持;
- (5)洪水漫滩监测:包括漫滩洪水进水口和退水口位置,漫滩范围检测,漫滩面积计算等;
- (6)灾情评估:在本底水体数据库、GIS信息库、漫滩区域社会、经济统计数据等支持下,分析评估洪水漫滩造成的损失,形成灾害评估报告,指导抢险及灾后重建。

## 3 遥感影像洪灾检测实验

本文采用黄河水利委员会信息中心遥感处提供的Landset TM多光谱遥感数据,分别对主溜线提取、河势演变分析、洪水漫滩分析等进行了验证,具体实验如下:

### 3.1 主溜线检测

为验证主溜线检测算法,本文截取了黄河花园口附近的一段Landset TM多光谱图像进行了实验,实验结果见图5,图中红色是利用所给主溜线检测算法检测出主溜线,而绿色是相近时期人工标注

主溜线,可以看出,所给主溜线检测算法在绝大部分地方和人工标注主溜线一致,验证了算法的有效性。

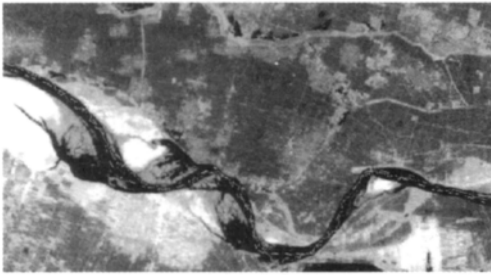


图5 主溜线检测结果与人工标注主溜线对比

### 3.2 河势变化分析

本文提取了黄河开封河段,从房庄到曹岗 2003 年 7 月 27 日至 2005 年 10 月 29 日的 5 个不同时间的遥感影像进行河势演变分析。图 6 是主溜线变化情况,从图中可以看出,该河段是典型的游荡型河段,河道主溜位置随时间变化非常大。表 1 给出了河湾参数计算结果,从图 6 和表 1 的实验结果可以得出:该部分河段主溜成明显周期性变化,在洪水季节,河道主溜趋直,而在非洪水季节,河道主溜坐弯,形成“Ω”,“S”或“M”型河湾,该结论符合对典型游荡型河段的河势变化情况的历史统计。

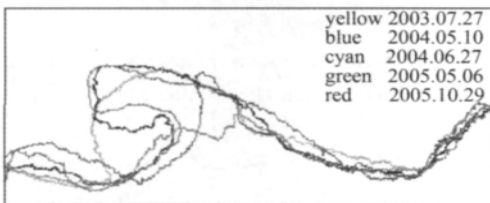


图6 2003年7月27日至2005年10月29日主溜变化情况

表1 河湾参数计算结果

| No. | date       | $d_{sl}$ (m) | $k_a$ |
|-----|------------|--------------|-------|
| 1   | 2003.07.27 | 4231.1       | 1.43  |
| 2   | 2004.05.10 | 1633.6       | 5.35  |
| 3   | 2004.06.27 | 1729.6       | 1.38  |
| 4   | 2005.05.06 | 966.1        | 4.75  |
| 5   | 2005.10.29 | 1435.6       | 3.18  |

### 3.3 洪水漫滩监测

2003 年,华西秋雨引起的一场黄河流域蔡集工程出险,致使马厂滩区发生了漫滩,本文利用 2003 年 10 月 24 日 TM 遥感影像,对漫滩情况进行检测分析。

在实验中,我们首先对 2003 年 5 月至 2005 年 5 月蔡集工程附近的主溜线进行了检测实验,如图 7

所示。从图 7(a)可以看出,在发生漫滩前,河道主溜在冲向控导工程后回头形成了一个“S”弯;图 7 (b)是已经发生洪水漫滩后 10 月 24 日遥感影像中主溜检测结果;从图 7(c)所示的 2004 年 6 月 20 日的主溜线检测结果可以看出,主溜线逐渐靠向控导工程;图 7(d)所示的 2005 年 5 月 6 日的检测结果显示主溜线已经完全靠向控导工程。

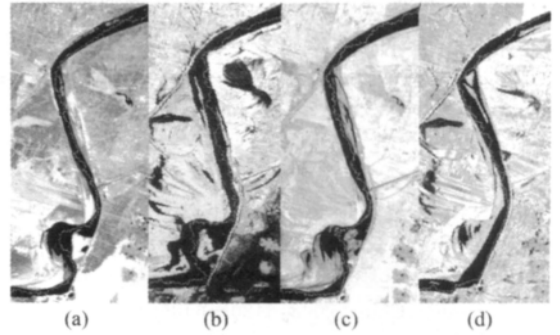


图7 主溜线监测结果与人工标注主溜线对比

图 8 是通过 2003 年 10 月 24 日 TM 遥感影像对马厂滩区的洪水漫滩进行检测的结果,其中,图 8 (a)是原多光谱图像的伪彩合成图;图 8(b)是未发生洪水漫滩时的河流本底水体检测结果;图 8(c)中是漫滩点自动检测结果,见图中红色标注;图 8(d)是漫滩区域检测结果。同时,通过自动检测结果,可以估算出漫滩面积约为 159.85km<sup>2</sup>。

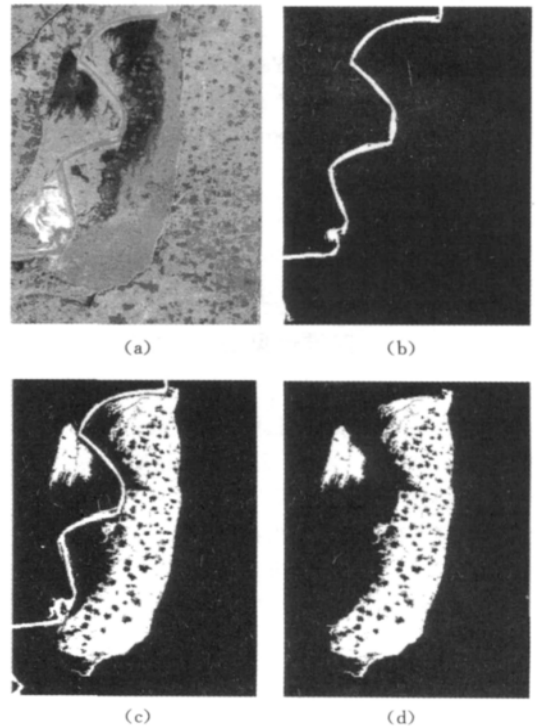


图8 洪水漫滩检测结果

## 4 结束语

本文针对黄河洪灾监测问题,给出了一种基于多光谱遥感图像,集河道主溜线自动检测、河势演变分析、洪水漫滩检测与分析评估功能于一体的黄河洪灾监测系统模型,并对模型中的主要功能进行了实验验证。本文所给洪灾监测模型具有如下主要功能:①自动检测河道主溜线;②监测分析河势演变情况,并对可能出现的险情进行预警、指导险工设置;③进行洪水漫滩监测分析,检测漫滩位置、计算漫滩

区域面积,并结合先验数据库对漫滩损失进行评估。从实验结果可以看出,该模型具有很好的实用价值。

该系统还存在如下不足:①实验检测结果没有建立科学的评价标准,只能与地面人工检测结果进行对比;②受遥感数据源的限制,目前还无法真正做到对洪灾进行实时监测,但是随着我国高分辨率对地观测平台的不断发展,高时间、高空间和高光谱分辨率的遥感数据的提供必将推动对黄河洪灾监测的应用水平,并最终实现构建集“空—天—地”一体化、多平台、实时性的黄河洪灾监测预警系统。

## 参考文献

- [1] 王卫红,李舒瑶,张晓华.黄河下游游荡性河段主流线调整与水沙关系研究[J].泥沙研究,2006,12(6):37-40,43.
- [2] WenJuan Yang, Qiang Huang, YuJie Lv, et al., Risk analysis of compensating regulation of cascade reservoirs on the main stream of Yellow River[C]//Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, Chongqing, China, 2008: 6480-6485.
- [3] 马辉,许志辉,马浩录.黄河下游洪水卫星遥感监测方法研究与应用[J].人民黄河,2009,31(1):107-108.
- [4] 陈鹏霄.基于GIS和遥感数据的洪水风险分析[J].水利水电快报,2008,29(8):16-21.
- [5] 丁志雄,李纪人.流域洪水汛情的遥感监测分析方法及其应用[J].水利水电科技进展,2004,24(3):8-11.
- [6] 王兴奎,邵学军,王光谦,吴保生,等.河流动力学[M].北京:科学出版社,2004.
- [7] 姚文艺,王卫东.黄河下游游荡性河道河势调整关系研究[J].水利科学进展,2006,17(5):624-630.
- [8] Zhang Haichao, Duan Feng, Zhang Yanning, Liu Xuegong, and Han Lin. A study on Yellow River mainstream line feature extraction[C]//Proceedings of the 3rd International Yellow River Forum on Sustainable Water Resources Management and Delta Ecosystem Maintenance, Zhengzhou, China, 2007(4):77-81.
- [9] Zhang Yanning, Zhao Na, Liu Xuegong, She HongWei. Main-stream feature extraction of the Yellow River based on regional spectral un-mixing[C]//Proceedings of the 4th International Yellow River Forum (2009 IYRF), Zheng Zhou, China, Oct., 2009(4):212-219.
- [10] She Hong-Wei, Zhang Yan-Ning, Liu Xue-Gong, et al. Main-stream of the Yellow River detection based on spectral feature and the Dynamic Transmission Model[C]//International Conference on Earth Observation Data Processing and Analysis (ICEODPA), 2008.

## 四维远见公司、中测新图公司首批签约入驻国家地理信息科技产业园

2011年11月28日上午,中国测绘创新基地嘉宾云集,国家地理信息科技产业园奠基一周年暨首批入园企业签约仪式在这里隆重举行。四维远见公司、中测新图公司等22家地理信息企业签订入园协议。国土资源部副部长、国家测绘地理信息局党组书记、局长徐德明,北京市副市长苟仲文,国家测绘地理信息局党组副书记、副局长王春峰,国家测绘地理信息局党组成员、副局长宋超智出席会议。

会上,中国工程院院士刘先林代表22家签约企业(集团)之一畅谈了入园感想,对国家地理信息科技产业园建设速度如此之快连连称赞,表示将借力国家地理信息科技产业园,加快企业发展和科技创新,促进地理信息产业大发展、大繁荣,为打造世界一流的地理信息产业“硅谷”、加快建设测绘地理信息强国作出贡献。