



Remote Sensing Monitoring and Analysis on Heavy Rainstorm Flood in Yongji County, Jilin Province

Xiaoyu Liao^{1,*}, Walian Du², Rina Su²

¹ Bureau of Hydrology (Information Center), Songliao Water Resources Commission, Ministry of Water Resources, Changchun 130021, China

² School of Environment, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

*Corresponding author. Email: 27151316@qq.com

ABSTRACT

With the continuous development of remote sensing technology, increasingly it is applied in natural disaster monitoring and management, especially, in the field of flood monitoring and warning, flood risk and loss assessment. The three phase Gaofen-1 satellite images before and after the flood in Yongji County were comparatively analyzed, surface conditions before and after floods were extracted by SVM algorithm. And on this basis, the flood damages and impacts were assessed. The results indicated that, affected by the torrential rain and floods on July 13, the affected area was about 138.54km², residential land and dry land were severely flooded. The process of flood routing can be monitored quickly, accurately and comprehensively by remote sensing technology, which provides scientific basis for flood control and disaster reduction.

Keywords: flood monitoring, remote sensing, GF-1, SVM, Yongji County.

吉林省永吉县特大暴雨洪水遥感监测分析

廖晓玉^{1,*}, 都瓦莲², 苏日娜²

¹ 水利部松辽水利委员会水文局（信息中心），吉林 长春，130021

² 东北师范大学环境学院，吉林 长春，130024

* 通讯作者。电子邮箱：27151316@qq.com

摘要

随着遥感技术的不断发展，越来越多的被应用在自然灾害监测与管理，特别是在洪水监测预警、洪灾风险与损失评估等领域。本文基于对比分析永吉县大洪水前后三期高分一号卫星影像，利用 SVM 算法实现洪水前后地表情况反演，实现对洪水发展过程、淹没范围的监测，并在此基础上评估洪水造成的损失及影响。研究表明，受“7.13”特大暴雨洪水影响，永吉县受灾面积约 138.54km²，其中，居民地、旱田受淹严重。通过遥感技术能够快速、准确、全面地监测洪水变化过程，为防洪减灾提供科学依据。

关键字：洪水监测，遥感，高分一号卫星，SVM，永吉县。

1. 引言

遥感技术由于具有成本低、速度快、监测范围大等特点，已在洪涝监测与评估方面得到广泛应用。我国卫星遥感事业迅速发展，空间和时间分辨率得到改善，特别是 2013 年开始高分系列卫星成功发射

投入使用，大幅提高了我国洪水遥感的监测精度，为防洪应用提供有力的数据支持。近年来，利用遥感技术对 2013 年黑龙江大洪水与松花江洪水、新疆融雪性洪水、2021 年黄河秋汛洪水、莱州湾南部寿光台风洪水等各类型洪水进行了灾害动态监测与评估分析^[1-6]。随着智能算法的发展，机器学习在图形

分类与模式识别领域得到广泛应用^[7]，例如利用神经网络、SVM、面向对象法等进行水体信息提取^[8-10]，避免了人为判别的主观因素，更适合自然特征复杂、空间布局随机性强的河流水系。

松花江流域位于我国东北部，是我国重要的工业基地和粮食生产基地，也是水旱灾害频繁发生的地区。尤其是 2017 年汛期，在吉林省永吉县同一个区域，20 天内发生了两次特大洪水和一次大洪水，给吉林省中东部造成严重洪涝灾害和经济损失。有关利用遥感开展洪水灾害监测的研究比较多，但针对东北平原区宽浅型河道运用卫星监测洪水灾害的研究较少，本文利用 2017 年 7 月 3 期高分一号卫星影像，对比永吉县“7.13”大洪水前后的雨水情、洪水淹没发展以及土地覆盖变化情况，分析洪水发展过程，评估洪水淹没损失程度。

2. 数据与方法

2.1. 研究区

永吉县地处吉林省中东部，松嫩平原向长白山过渡地带，距吉林市 15km，全县幅员面积 2625km²，辖 9 个乡镇（区），总人口 42 万人，现有大中小型水库 63 座，流域面积 20km² 以上河流 39 条，堤防总长度 111.86 km。永吉县口前镇面积 13.68km²，人口约 10 万人，县城地理位置位于三面环山，山体相对较高，地势相对低洼的地带，上游属扇形集水流域汇入县城，极易集中形成洪峰。县城周边有温德河、西阳河、四间河、巴虎河等 4 条主要河流汇入，其中温德河穿城而过，全长 64.5km，集雨面积 1179km²，县城内集雨面积 830km²，是第二松花江一级支流，发源于永吉县北大湖镇的肇大鸡山西北侧，经永吉县口前镇、吉林市丰满区二道乡等注入第二松花江。四间河和巴虎河为温德河的支流，四间河集雨面积 94.7km²，河道长度 20.3km，穿进口前镇城区，在县城口前水文站下游 1km 处与温德河汇合，巴虎河穿过永吉县经济开发区，流域面积 39.7km²，河道长度 12.2km，在四间河河口下游约 2km 处汇入温德河。

2.2. 雨水情数据

收集并统计 2017 年永吉县温德河口前站实时雨水情数据（如图 2 所示），明确遥感监测的时间及范围。收集地方水文资料，结合图 2 可以看出，2017 年永吉县洪水呈现异常性强、极端性强的特点。2017 年 7 月，永吉县接连发生了两场历史罕见的特大暴雨洪水。从入汛以来至 8 月 31 日，累积降雨 782mm，是 2016 年同期的 2.2 倍，其中，7 月 13 日至 14 日，永吉县温德河流域平均降雨量 181.5mm，最大降雨量为口前镇黑屯水库 350mm，最大 1 小时降雨强度达到了 93mm，均突破历史极值；温德河最高水位 228.05m，超堤顶高程（226.0m）2.05m，

出现洪峰流量 3350m³/s，发生了有实测记录以来的历史第一位大洪水。7 月 19 日至 20 日，该地区又普降暴雨，平均降雨量 166.2mm，温德河流域平均降雨量 197.5mm，最大 1 小时降雨量 103mm，最大点雨量 378.5mm，温德河最高水位 226.80m，超堤顶高程 0.8m，出现洪峰流量 2480m³/s，有实测记录以来第三位，时隔 7 日永吉县又遭遇暴雨洪水。8 月 2 日至 3 日，永吉县第三次遭遇强降雨，平均降雨量 96.3mm，最大降雨量为县城上游小屯水库 171mm，温德河最高水位 223.98m，出现洪峰流量 942m³/s。前两场特大暴雨洪水超出了以往的水情记录，雨量连续突破历史极值，历史罕见。因此，结合永吉县雨水情特点，选择遥感数据的时间跨度为 2017 年 6 月 1 日至 8 月 31 日。



图 1 研究区地理位置

2.3. 遥感数据与预处理

利用高分一号卫星影像解译、提取洪水发生前后下垫面土地覆盖和洪水淹没情况。高分一号卫星搭载了 2 台分辨率为 2m 全色/8m 多光谱的高分辨率相机和 4 台分辨率为 16m 的多光谱中分辨率宽幅相机，重复周期 4 天。GF-1 是中国高分辨率对地观测系统的第一颗卫星，突破了高空间分辨率、多光谱与宽覆盖相结合的光学遥感等关键技术，其中，4 台 16m 的宽幅相机组合图像宽幅可达到 800km，光谱范围包括蓝、绿、红、近红外 4 个波段，可满足水体识别要求及对土地覆盖情况的监测，是本研究的主要数据源。基于雨水情分析，根据监测对象的发生日期，并结合天气等因素，影像时相选择为 2017 年 6 月 16 日、7 月 11 日和 7 月 15 日，云量小于 10%，共 7 幅影像。同时，获取更高空间分辨率的 Google Earth 卫星影像，主要用于图像纠正和斑块细节信息的提取和验证。其他空间数据还包括分辨率 15mDEM、1:5 万行政区划图和水利基础数据。

进行影像数据预处理，首先对多时相多光谱影像进行辐射定标，将 GF-1 卫星各载荷的通道观测值计数值 DN 转化为等效表现辐射亮度；利用

FLAASH 大气校正方法, 明确海拔、大气模型以及气溶胶等参数, 对影像进行大气校正, 得到地表反射率; 然后, 利用 15mDEM 进行正射校正, 消除由于成像扫描、遥感平台姿态不稳定等因素引起的几何畸变。

2.4. 分类方法

2.4.1. SVM 分类

本研究通过遥感影像动态监测洪水发生前后的相关信息, 基于支持向量机分类方法, 提取洪水淹没范围以及土地覆盖情况, 从而分析洪水情况及辖区内受灾情况。支持向量机 (Support Vector Machine, SVM) 是一种建立在统计学习理论基础上的机器学习方法^[7,11], 可以自动寻找那些对分类有较大区分能力的支持向量, 由此构造分类器, 具有较好的推广性和较高的分类准确率^[12]。SVM 在遥感影像分类、信息提取等方面已得到广泛应用, 在解决小样本、高维度、非线性模式识别中表现优越^[13-15], 通过内积核函数将原始分类空间变换到高维空间, 在变换后的高维空间内寻求最优分类面, 实现小样本空间下寻求学习精度和学习能力之间最佳折中, 达到最优推广能力的目的^[11]。

设有两类线性可分的样本集合: (x_i, y_i) , $i = 1, \dots, n$, $x_i \in R^d$, $y_i \in \{+1, -1\}$, 将线性判别函数归一化, 使两类所有样本都满足 $|f(x)| \geq 1$, 即:

$$y_i[(\omega \cdot x_i) + b] - 1 \geq 0, \quad i = 1, \dots, n \quad (1)$$

此时分类间隔等于 $2/\|\omega\|$, 间隔最大等价于 $\|\omega\|^2$ 最小。满足是 (1) 且使 $\|\omega\|^2/2$ 最小的分类面就是最优分类线 H。过两类数据样本中离分类面最近的样本且平行于分类面 H 的超平面上的数据样本叫做支持向量。最优分类面问题可表示为约束优化问题, 即在式 (1) 的约束下, 求如下函数最小值:

$$\varphi(\omega) = \frac{1}{2} \|\omega\|^2 \quad (2)$$

利用 Lagrange 优化方法可将最优分类面的求解问题转化为凸二次规划寻优的对偶问题, 即在约束

条件 $\sum_{i=1}^n y_i \alpha_i = 0$ 和 $\alpha_i \geq 0 (i = 1, 2, \dots, n)$ 下, 满足:

$$\max \sum_{i=1}^n \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_i \alpha_j y_i y_j (x_i \cdot x_j) \quad (3)$$

式中, α_i 为对应的 Lagrange 乘子, 该式为二次函数寻优问题, 存在唯一解。求解后得到最优分类面函数为:

$$f(x) = \text{sgn}\{(\omega \cdot x) + b\} = \text{sgn}\{\sum_{i=1}^n \alpha_i^* y_i (x_i \cdot x) + b^*\} \quad (4)$$

式中, α_i^* 不为零的样本, 即为支持向量, b^* 是分类阈值, 可用任何一个支持向量求得, 或通过两类中任意一维支持向量取中值得求得。

对非线性问题, 可以通过非线性变换转化为某个高维空间中的线性问题, 在变换空间求最优分类面。根据泛函的有关理论, 采用满足 Mercer 条件的某种核函数 $K(x_i, x_j)$, 将线性不可分的数据样本在高维空间变换为可分问题, 然后进行分类。此时, 目标函数变为:

$$Q(\alpha) = \sum_{i=1}^n \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j) \quad (5)$$

目前满足 Mercer 条件的核函数有线性核函数、多项式函数、径向基函数 (RBF) 和 Sigmoid 函数。本文采用的径向基函数:

$$K(x, x_i) = \exp\left\{-\frac{|x-x_i|^2}{\gamma^2}\right\} \quad (6)$$

式中, γ 为核参数。面对高维、小样本的复杂遥感分类问题, 一般的学习方法 (如最大似然分类法、神经网络法) 是基于训练误差最小, 常存在过度拟合的问题, 而支持向量机是根据有限样本在训练误差与真实误差之间寻求最佳分类^[13-15]。

2.4.2. 建立遥感解译样本

根据下垫面实际情况和研究需求, 将永吉县土地覆盖类型分为水体、林地、农田、水田、交通用地、居民地 6 类, 对地物几何形状、颜色、纹理和空间分布进行分析, 建立 GF-1 假彩色合成影像解译标志 (表 1); 通过人工解译, 并参考 1:10 万土地覆盖成果, 采集 6 种土地类型的样本约 700 个, 建

表 1 土地覆盖分类及解译标志

分类	解译标志
水体	呈蓝色、蓝绿色、深蓝色、蓝黑色, 洪水期色调偏黄, 包括河流、湖泊、水库、坑塘等, 几何特征明显, 呈自然形态
林地	呈深红色、暗红色, 色调均匀, 有立绒状纹理, 边界自然圆滑, 呈不规则形状, 包括有林地、灌木林、疏林地等
旱田	色调多样, 一般为浅红色、浅黄色、浅灰色, 地块边界清晰, 有耕种纹理, 大面积分布
水田	呈深绿色、深蓝色, 色调均一, 地块边界清晰, 大面积分布
交通用地	呈灰白色, 线状地物, 比较规则
居民地	呈青灰色, 形状较规则, 纹理粗糙, 内部有道路连通
裸地	呈白色或灰色, 分布于水体附近

立样本库。

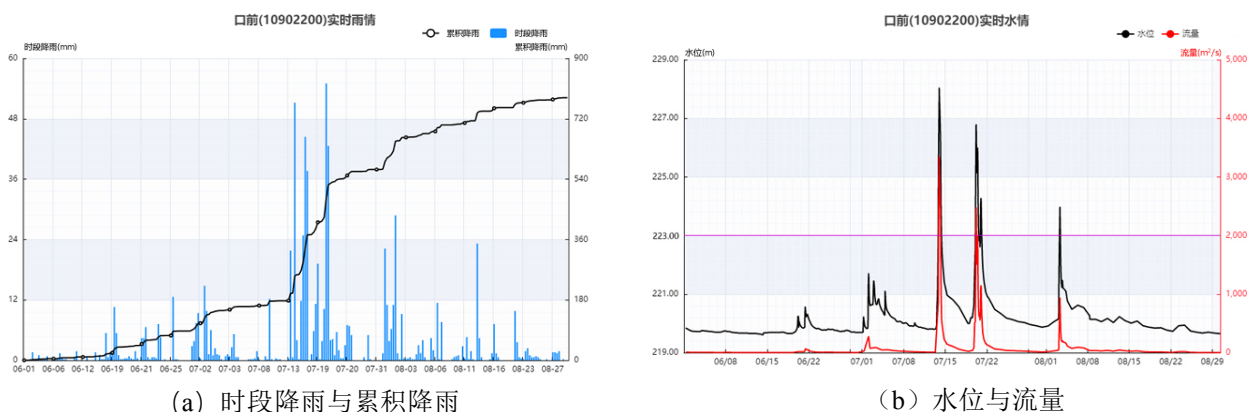


图2 口前站实时雨水情 (2017年6月1日至8月31日)



图3 永吉县洪水发生前后水体覆盖对比

3. 结果与分析

3.1. 洪水淹没范围提取

应用遥感处理分析软件, 基于 SVM 方法进行影像分类, 得到 3 期分类成果 (表 2), 并将水域面积单独提取分析洪水淹没范围。将平水期 (6 月 16 日) 水体面积与洪水期 (7 月 15 日) 水体面积进行叠加, 获得洪水淹没范围, 淹没面积约为 138.54km^2 。结合雨水情数据, 对比洪水发生前后水体覆盖变化情况 (如图 3), 可以看出 6 月 16 日口前站累积降雨 10.2mm , 比同期持平, 河道蓄水正常, 图 3 (a) 中河宽较窄, 个别支流蓄水不足, 空间展布不明显, 辖区范围内星星哨水库水位低于汛限水位 2.44m , 蓄水量 0.782 亿 m^3 , 库区水面面积正常。至 7 月 11 日, 永吉县经过几场规模不大的降雨, 河道水量有所增加, 图 3 (b) 水域面积增加, 星星哨水库水位增加 0.39m , 水库库区面积较 6 月 16 日变大。7 月 15 日, 经过 7 月 13-14 日大暴雨后, 图 3 (c) 中河道和水库水域面积迅速增大, 河道大幅拓宽, 尤其支流温德河、四间河、西阳河、巴虎河、岔路河等涨水明显, 永吉县城位于三面环山, 地势相对低洼的地带, 上游支流来水呈扇形汇聚于永吉县, 集中

形成洪峰, 县城几乎处于过水状态, 河道两侧农田大面积受淹。

3.2. 遥感分类结果分析

利用感兴趣区域验证法对分类结果进行验证, 分类结果总精度为 94.8% , kappa 系数为 0.91 。从验证结果来看, SVM 分类法具有一定的优势, 各地物斑块分明、纹理清晰, 混分错分现象低于最大似然法。但由于受洪水淹没影响, 水体样本色调复杂, 水田和洪水水体存在混分, 因此, 辅助人工解译, 对其结果进行进一步修订。

表2 永吉县大洪水前后土地利用面积统计 (km^2)

类型	6月16日	7月11日	7月15日
水体	62.58	64.02	217.08
居民地	48.56	50.02	40.22
旱田	1246.47	1419.60	777.71
水田	261.81	242.19	658.33
林地	981.66	825.06	907.96
交通用地	1.60	1.77	1.33

对比洪水发生前后的土地覆盖情况可知(表2),水体面积从6月16日逐渐增加,到7月15日暴雨后第二天,整个水域面积扩大了2.5倍,受淹水田面积增加了1.5倍,其中温德河流域受灾严重,永吉县城区几乎全城被淹;相应地旱田、居民地、林地、交通用地面积不同程度的缩减,其中居民地减少20%,旱田减少38%,林地减少8%,交通用地17%受到洪水影响。

4. 结论

通过遥感监测分析,永吉县在遭受2017年“7.13”特大暴雨后,7月15日洪水淹没面积为138.54km²,其中,温德河流域永吉县城受灾尤为严重,从土地覆盖变化来看,水域面积急剧增加,居民地、旱田受淹严重。研究表明,利用高分系列遥感卫星,结合GIS技术,能快速、准确、全面地实时监测区域内洪水的发展变化过程,特别是针对灾后缺乏观测资料的监测预测情况,可为防洪减灾提供科学依据,特别是平原区宽浅河道洪水防御技术研究提供参考,为提升防洪预报、预警、预演、预案“四预”能力提供技术支撑。

参考文献

- [1] 周月华,彭涛,史瑞琴.我国暴雨洪涝灾害风险评估研究进展[J].暴雨灾害,2019,38(5):494-501
- [2] 马丽云,李建刚,李帅.基于FY_3/MERSI数据的新疆融雪性洪水灾害监测[J].国土资源遥感,2015,27(4):73-78
- [3] 陈亮,杨阳,申源,等.2021年黄河秋汛洪水遥感监测应用[J].国土资源遥感,2015,27(4):73-78
- [4] 王伶俐,陈德清.2013年黑龙江大洪水遥感监测分析[J].水文,2014,34(5):31-35
- [5] 刘明月,贾明明,王宗明.2013年松花江与嫩江交汇段洪水遥感监测[J].湿地科学,2015,13(4):456-465
- [6] 姜波,孟灵,邢前国.2018年夏季莱州湾南部寿光台风洪水受害区遥感监测[J].环境影响评价,41(5):83-87
- [7] 周志华.机器学习[M].北京:清华大学出版社,2016
- [8] 杨柳,田生伟,禹龙,等.基于分布式计算的BP遥感影像水体识别[J].计算机工程与设计,2015,36(8):2229-2233+2244
- [9] 段秋亚,孟令奎,樊志伟,等.GF-1卫星影像水体信息提取方法的适用性研究[J].国土资源遥感,2015,27(4):79-84
- [10] 张德军,杨世琦,王永前,等.基于GF-1数据的三峡库区水体信息精细化提取[J].人民长江,2019,50(9):233-239
- [11] Burges C J C. A tutorial on support vector machines for pattern recognition[J]. Data Mining and Knowledge Discovery, 1998, 2(2): 121-167
- [12] Vapnik V. The nature of statistical learning theory[M]. New York: Springer-Verlag, 1995
- [13] 崔炳德.支持向量机分类器遥感图像分类研究[J].计算机工程与应用,2011,47(27):189-191
- [14] 董金芳,王娟,何慧娟.基于支持向量机的湿地遥感分类方法[J].测绘与空间地理信息,2016,39(11):150-155
- [15] 张策,臧淑英,金竺等.基于支持向量机的扎龙湿地遥感分类研究[J].湿地科学,2011,9(3):263-269

Open Access This chapter is licensed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits any noncommercial use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license and indicate if changes were made.

The images or other third party material in this chapter are included in the chapter's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the chapter's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.

