

# 基于 Micaps3.1 的暴雨洪涝预报 预警模块的研发

王俊超, 彭 涛, 殷志远, 李武阶

(中国气象局 武汉暴雨研究所暴雨监测预警湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430074)

**摘 要:**文中利用 C#.NET 构建了基于 MICAPS3.1 系统应用的暴雨洪涝预报预警系统整体框架, 重点介绍了该系统开发的基本情况、系统架构和系统中使用的关键技术和算法。并选取汉江丹江口为试验流域, 初步完成了流域基础地理(边界、水系)、气象、水文监测站点的收集以及显示; 流域 QPE、QPF、实况监测等气象要素实时产品信息的提取以及气象要素产品与水文模型接口的设计; 最后提供了流域实况降水监测场、流域实况降水雷达估算场、流域预报雨量场、流域水文预报信息数据、图形等产品文件。该模块的研发能为流域防洪决策提供支持, 并为河流防汛精细化预报服务试点工作的推广提供经验和模式。

**关键词:**暴雨洪涝; MICAPS; 裁减; 等值线; 预警预报

**中图分类号:** TP39

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2012)04-0144-05

## Design of Rainstorm and Flood Control Pre-Alarm System Based on Micaps3.1

WANG Jun-chao, PENG Tao, YIN Zhi-yuan, LI Wu-jie

(Hubei key Lab for Heavy Rain Monitoring and Warning Research, Institute of Heavy Rain,  
Chinese Meteorology Administration, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Build the overall framework of forecasting and warning system based on MICAPS3.1 by using C#.NET, which focuses on the basic situation of the system development, system architecture and key technologies used in the system and algorithms. And select Hanjiang Danjiangkou basin as example, The basic geographic basin (boundary, river system), meteorological, the collection and display of hydrological monitoring stations are initially completed; The extraction product information and meteorological such as river QPE, QPF and live real-time monitoring and meteorological and the interface design of hydrological model and elements product is finished; Finally provide live monitoring of field watershed, watershed live radar estimates of precipitation fields forecast rainfall field watershed, watershed rainfall live accumulate at any time, the basin outlet section flow information data, graphics and other product documentation. The system module provides strong support for improving the level of flood prevention decision-making, and provides experience and patterns for river flood forecasting service in the promotion of pilot work.

**Key words:** rainstorm and floods; MICAPS; reduction; contour; warning and forecast

## 0 引 言

洪水灾害是我国发生频率高、危害范围广、对国民经济影响最为严重的自然灾害。2010年5月以来, 中国南部多个省市遭受了多轮特大暴雨袭击及洪涝灾害, 给人民生命财产带来了极大的损失。暴雨预报的

难度逐渐加大以及防范暴雨灾害的紧迫性逐渐增强促使我们提高对暴雨洪涝预警技术的重视, 为此开发流域暴雨洪涝报警系统显得极为紧迫。该系统是将气象和水文有机结合, 开展水文实时预报与防汛决策服务, 最大限度发挥水库及闸坝的防洪效益, 从非工程措施上减轻洪水造成的危害, 并将系统移植到国家气象中心 Micaps3.1 业务系统中<sup>[1]</sup>, 利用实况信息、暴雨预报产品及相关水文模型计算的流域雨量和流量, 绘制相关图像并配合说明文字使预报人员有直观的认识, 有利于提高流域防洪决策水平, 并为河流防汛精细化预报服务试点工作的推广提供了经验和模式。利用 GIS 作支持获取了试验流域(汉江丹江口、淮河王家

收稿日期: 2011-09-02; 修回日期: 2011-12-07

基金项目: 国家公益性行业(气象)专项(GYHY200806002, GYHY201206028); 华中区域气象中心科技发展基金推广项目(QY-T-201202); 国家气象中心预警工程项目; 武汉暴雨研究所基本科研业务项目(1103, 1203)

作者简介: 王俊超(1982-), 男, 助理工程师, 主要从事系统集成分析与系统开发方面的研发工作。

坝、漳河水库、石门水库、西北口水库、雾渡河等)的基础地理数据信息,包括流域边界、干流、支流、站点等,文中主要以汉江丹江口流域为例来介绍模块的研发。

## 1 系统结构与功能设计

### 1.1 系统结构框架

系统采用了开放式框架结构(见图1),建立了对各功能组件的标准化接口及数据处理与显示的综合控制;实现了对标准化业务数据的统一接口管理及交互控制及多种信息管理的系统性结构;完成了系统相关参数配置、后台作业处理、输出管理等功能;实现了可以自由组合的版本控制管理等软件框架技术。

系统核心框架主要负责系统公共资源管理、图形绘制区域管理以及图层基本属性定义,系统其他操作功能通过扩展相应功能模块来实现,系统启动时扫描安装的关键模块并注册到系统中,也可以通过工具栏按钮启动,利用这种方式,功能扩展不影响系统启动的速度。

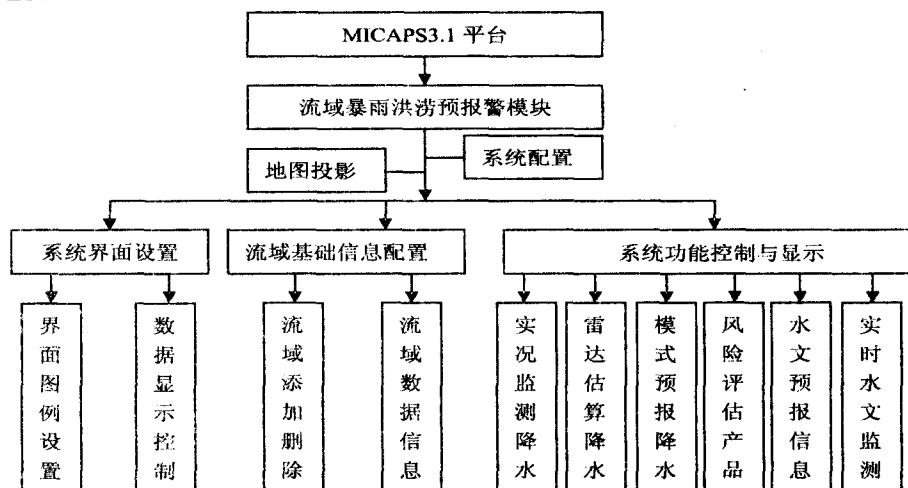


图1 暴雨洪涝预报预警模块框架结构

### 1.2 系统界面设置

流域暴雨洪涝预报预警系统包含工具栏、综合图资料检索、属性显示控制与修改、系统功能控制和主显示区等几个主要部分。工具栏分为两个部分:基本工具栏与可配置工具栏。基本工具栏是不能修改的,主要提供系统的基本功能,例如图层的上翻与下翻显示功能;用户配置工具栏可以通过修改文本文件来配置,例如雨量累加功能。

#### 1.2.1 综合图资料检索

资料检索窗口包括综合图目录窗口和综合图文件窗口两部分,缺省显示位于安装目录下的预定义的综合图文件,可根据需要添加和修改,在窗口内点击综合图文件名可进行综合图数据检索,十分方便。

#### 1.2.2 系统界面图例设置

系统界面图例设置主要包括图像图例显示与否以

及图例设置、图片保存功能以及退出按钮。系统增加了图例显示和定制(见图2),本系统中所用的数据类型为 MICAPS 第三类数据格式,点击“显示图例”按钮可在图形显示区显示设置好的图例,点击“图例设置”按钮弹出图例设置的窗口,可根据实际应用对图例进行选择 and 修改。

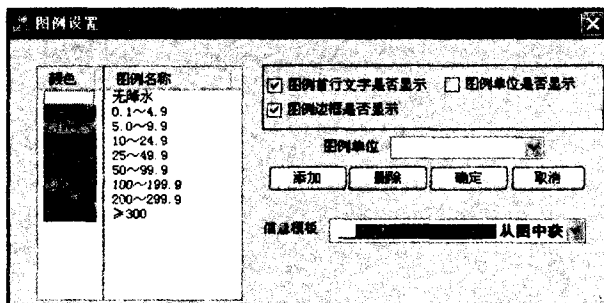


图2 系统界面图例设置

### 1.3 流域基础信息配置

系统中的流域基础信息设置主要包括流域数据类型的选择以及流域边界图形的线条大小以及线条颜色设置。同时增加流域设置功能,此功能包括添加新流域基础地理信息及删除流域基础地理信息,将相应的数据文件(利用 GIS 提取)指定到所选的路径下,同时自动修改配置文件,也可以直接通过修改配置文件指定相应的名称和数据路径,提高了操作的灵活性和方便性。

#### 1.4 系统功能设置简介

流域实况监测降水:该

功能主要利用自动气象站、加密站、水文站等实时监测资料实现流域实况降水显示,为了获取实况监测降水任意时段的降水信息,增加了雨量累加功能。雨量累加功能可以通过选择开始时间、结束时间和资料间隔,计算雨量累加并显示累加结果,算法采用 C++ 语言编写,提高了算法执行的效率,累加结果文件名将显示在输出文件文本框中。同时也可以修改分析线值文本框中的数字指定输出文件显示时分析线值。

流域雷达估算降水:该功能主要利用短临预报系统 SWAN 中的雷达估算降水产品结合流域地理边界实现流域雷达估算降水显示。

流域模式预报降水:该功能主要利用数值模式(AREM 模式、T639 模式、WRF 模式等)预报结果结合流域地理边界实现流域模式预报降水显示。

由于 MICAPS 中的降水显示采用的是 MICAPS 第

三类数据格式,因此实现流域实况监测降水显示、流域雷达估算降水显示及流域模式预报降水显示时,要将不同类型格式的原始数据统一转换成 MICAPS 第三类数据格式。

流域水文信息:该功能主要通过利用自动雨量站、雷达测雨、中尺度暴雨预报等技术获取高时空分辨率的水文资料(降雨等)场输入水文模型来进行实时水文气象预报<sup>[2~4]</sup>,并将流域水文预报信息列表成数据文件,最终形成图形产品显示,同时显示过程预报信息与时段预报信息,过程预报信息包括起报时间、洪峰到达时间、总来水量及截止时间、过程洪峰流量、总降雨量,时段预报信息可以通过选择过程中任意时段来统计分析包括时段内的总来水量、总雨量及洪峰流量。

流域实时水文监测:实时水文监测主要包括实时流量信息和实时水位显示,并实现天数查询的控制。实时水文监测数据来源于水利部水情网,通过运行指定程序并设置相应的配置文件自动获取实时水文数据到指定的数据目录。

## 2 系统核心算法

### 2.1 系统产品显示算法流程图

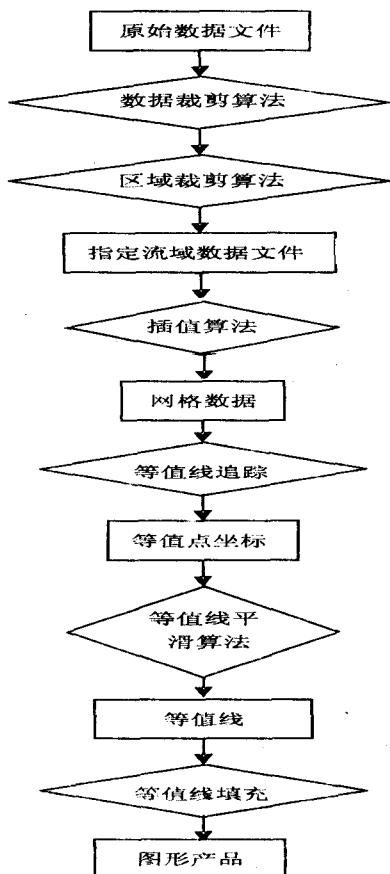


图 3 产品显示算法流程图

利用自动气象站、自动雨量站、新一代天气雷达、卫星资料以及数值模式计算结果获得降水数据后,为

了显示需要,将以上不同类型数据统一转化成 MICAPS 第三类格式数据类型。由于该系统主要是对指定流域进行预警分析,而降水数据是区域降水资料,因此为了提高显示效率,需要对原始数据(边界基础地理信息数据)进行裁剪,然后对区域进行裁剪,系统提供了离散点数据的 CRESSMAN、BANERS 客观分析以及三角网等值线分析。裁剪后的离散数据点采用插值算法形成网格数据后,按照一定的方向直接对每个网格各边的等值点进行追踪<sup>[5]</sup>,然后定义适当的数据结构按顺序存放等值线上所有等值点的坐标,最后生成等值线<sup>[6,7]</sup>,等值线平滑算法采用 3 次 B 样条方法<sup>[8,9]</sup>。为了使等值线图更直观,以便更好地反映流域场的信息,还需对等值线进行颜色填充<sup>[10]</sup>。具体流程图如图 3 所示。

### 2.2 数据及区域裁剪算法

#### 2.2.1 数据裁剪算法

由于给定数据范围比较大,为了研究指定流域预警信息,需要对流域原始基础地理信息数据进行裁剪,最终得到所指定区域的数据信息,从而提高了后续相应算法执行的速度。系统采用的裁剪算法为引射线法,算法思想为:

1) 已知流域原始基础地理信息坐标点  $\text{point}(x, y)$  和流域边界多边形  $\text{Polygon}(x_1, y_1; x_2, y_2; \dots; x_n, y_n)$ ;

2) 以  $\text{point}$  为起点,以无穷远为终点作平行于  $X$  轴的直线  $\text{line}(x, y; \infty, y)$ ;

3) 循环多边形的每一条边  $\text{side}(x_i, y_i; x_{i+1}, y_{i+1})$ , 判断该线段是否平行于  $X$  轴,如果平行则  $\text{continue}$ ;否则,  $i++$ ;

4) 同时判断  $\text{point}(x, y)$  是否在  $\text{side}$  上,如果是,则返回 1(点在多边形上),否则判断 5);

5) 判断线  $\text{side}$  与  $\text{line}$  是否有交点,如果有,则  $\text{count}++$ ,否则,  $i++$ ;

6) 判断交点的总数,如果为奇数,则返回 0(点在多边形内),如果为偶数则返回 2(点在多边形外)。

#### 2.2.2 区域裁剪算法

将指定流域数据进行筛选后,就可以利用现有数据形成等值线,然后进行等值线的填充,为了减少后续算法的复杂度,提前对流域区域进行裁剪,流域区域边界数据采用的是二进制数据,该数据由扩展的 MICAPS 第 9 类数据转换而来。同时在实况降水雨量累加功能中也可以指定等值线分析裁剪框,定义自己的裁剪区域。在刘勇奎<sup>[11]</sup>提出的算法的基础上得到新的裁剪算法。新算法分为 3 个阶段:

1) 判断及计算第 1 个交点,并由其进出性判断两个多边形是否同向。如果不同向,则将裁剪多边形链

表反向,然后将该交点插入到两个多边形的链表中。

2)依次以实体多边形的每一个边对裁剪多边形进行直线裁剪操作,判断及计算其余交点,并以正确的顺序插入到两个多边形的链表中。

3)遍历整个链表,输出最终结果。

其中判断和计算交点采用错切变换法,数据结构采用单链表,与其他使用双链表或树结构的算法相比,单链表法占用的空间比较小。同时允许多边形既可以按顺时针方向也可以按逆时针方向输入。

## 2.3 等值线相关算法

### 2.3.1 等值线追踪原理

等值线具有自身的特点:首先,任何两条等值线必不相交;其次,对于给定的某个属性值,相应的等值线条数可能不止一条;然后,由于定义域是有界的,等值线可能是闭合的,也可能是非闭合的,因此,等值线又可分为内部封闭的等值线和从边界出发到边界结束的等值线两种情况。等值线追踪法的原理<sup>[12]</sup>是首先从绘图区域边界或内部网格的边上求得一个等值点(等值线与网格边的交点),然后由该点出发,判断下一个等值点的坐标,直到下一个等值点落在绘图区域边界上或与起点重合,则对该条等值线的追踪就算完成了。由一个等值点追踪下一个等值点,实际上是一个求网格内等值线连接的问题。

### 2.3.2 等值线填充算法

等值线填充<sup>[13,14]</sup>的实质是建立等值线间的拓扑关系,对于封闭等值线相对容易,难点是非封闭等值线连通区域及其要素值的确定。利用裁剪后形成的等值线集合,以及将非封闭等值线端点插入边界线后形成的新的边界线端点集合追踪等值线填充区域。首先追踪非封闭等值线的填充区域,确定非封闭等值线填充区域的要素值。然后确定所有封闭等值线的填充区域(封闭等值线填充区域的轮廓线就是该等值线),并按照填充区域外切矩形面积由大到小排列,非封闭等值线填充区域集合与封闭等值线确定的填充区域集合合并,非封闭等值线填充区域在前。最后确定封闭等值线填充区域的要素值。

## 3 应用实例产品显示

2010年7月中旬以来,汉江流域发生了大范围强降水,致使汉江中下游发生了为期近10天的夏季大洪水。此次降水呈现出过程雨量大、持续时间长、局地降水强度强的特点。以安康、郧县和南阳为例,其降水总量分别达到467.4、269.4和349.25毫米,导致汉江上游来水过多,洪水来势迅猛,防汛形势十分严重。

自2010年7月15日开始,该系统进行实时预报试验,每天两次对未来72小时流域水情做出预报。利

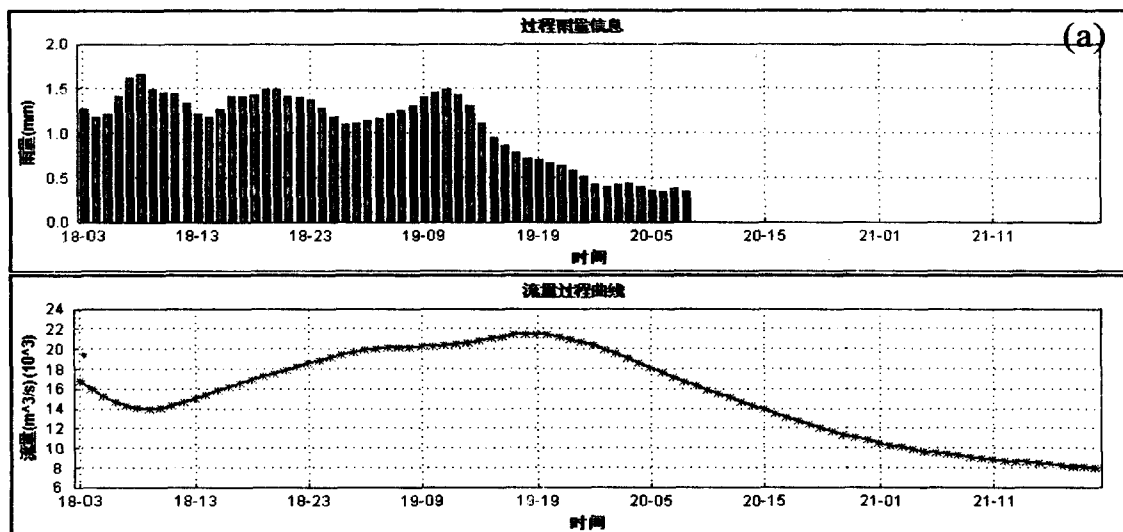
用上述等值线相关算法及数据区域等值线裁剪算法,结合给定的流域相关数据文件,最终形成图形产品,以汉江丹江口水库流域为例,分别给出了汉江丹江口控制流域逐小时雷达估算降水、实况监测降水、60小时模式预报降水以及实况降水时段(2010年7月16日15时~2010年7月22日15时)累加降水色斑图形显示,结果表明:汉江丹江口2010年9月2日1时的雷达估算降水显示,最大降水出现在竹山附近,降水量为50~99mm;汉江丹江口2010年7月16日15时显示的60小时模式预报降水表明,最大降水出现在宁强、汉中、城固、南郑、洋县以及西峡附近,降水量达100~200mm;汉江丹江口2010年7月16日15时显示的实况监测降水表明,最大降水出现在平利及旬阳一带,降水量为25~50mm;汉江丹江口2010年7月16日15时~2010年7月22日15时显示的实况累加表明,绝大部分地区都达到了暴雨级别,显示结果与实际比较相符。其中等值线分析采用CRESSMAN客观分析,分析半径为(50,25,10,5,1),分析间隔为0.25,分析线值为(0.15102550100200300)。以上设置都可以通过配置文件针对实际应用进行相应的修改。

根据降水监测与模式预报降水信息,模块后台启动水文模型对丹江口水库流域实施水文预报,18日03时水文预报结果显示(图4a),洪峰(21442m<sup>3</sup>/s)将于19日19时到达丹江口水库,根据所获取的水文实况监测信息(图4b),19日08时实况预报对比(实况19400m<sup>3</sup>/s;预报20130m<sup>3</sup>/s)结果显示系统预报较为准确。从过程预报结果(2010年7月08日03时至2010年7月21日20时)来看,汉江丹江口流域此次过程总面雨量为57.51mm,丹江口水库来水约为49.73亿m<sup>3</sup>。

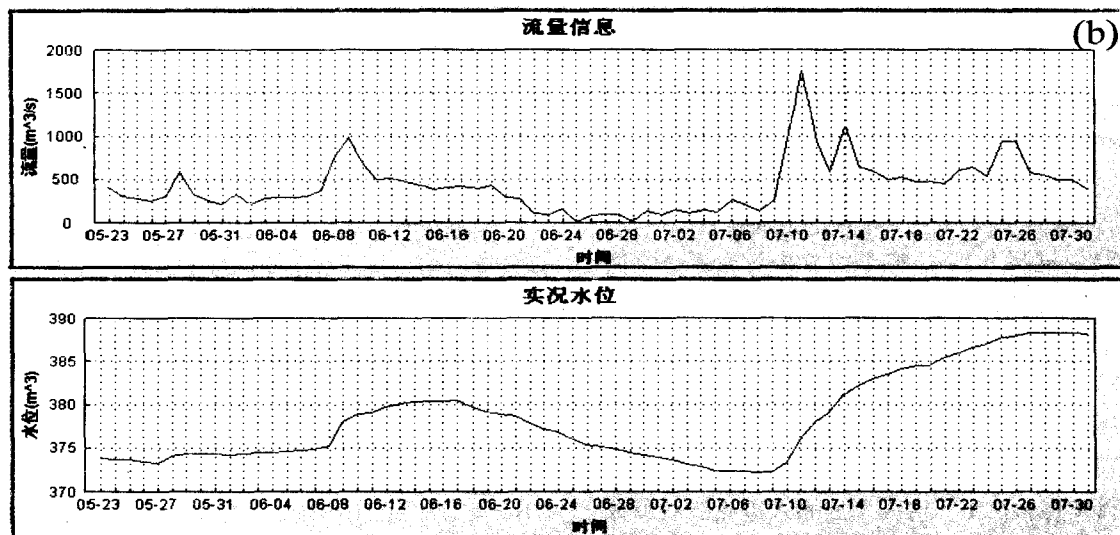
## 4 结束语

做好河流防汛预报服务,是加强河流治理和病险水库除险加固的重要工作,更是贯彻落实防灾减灾体系建设重大决策部署的重要举措。暴雨洪涝预报预警是一项复杂的系统工程,文中以汉江丹江口流域为例,基于MICAPS3.1开发暴雨洪涝预报预警模块,该模块的开发立足于在流域洪涝预报预警中充分利用现有的降水信息(实况监测、雷达估算、模式预报等),通过水文模型来实施水文预报,并制作相关图形产品,配合说明文字使预报人员有直观的认识,从而为流域防洪决策提供支持。

任何模型方法都不是通用的,不同地区、不同时期暴雨洪涝灾害形成的条件都存在明显的差异,因此文中所研发的暴雨洪涝预警预报模块,还需进一步的试验,不断更新和完善,以便满足今后业务化的需求。



(a) 流域水文信息



(b) 流域实时水文监测

图 4 流域水文预报、监测信息显示

## 参考文献:

- [1] 李月安,曹莉,高嵩,等. MICAPS 预报业务平台现状与发展[J]. 气象,2010,36(7):50-55.
- [2] 彭涛,宋星原,殷志远,等. 雷达定量估算降水在水文模式汛期洪水预报中的应用试验[J]. 气象,2010,36(12):50-55.
- [3] 崔春光,彭涛,沈铁元,等. 定量降水预报与水文模型耦合的中小流域汛期洪水预报试验[J]. 气象,2010,36(12):56-61.
- [4] 彭涛,李俊,殷志远,等. 基于集合降水预报产品的汛期洪水预报试验[J]. 暴雨灾害,2010,29(3):274-278.
- [5] Cottafava G, Moli G L. Automatic contour map[J]. Communications of the Association for Computing Machinery, 1969, 12(7):386-391.
- [6] 沈亚飞,龚卫国. 等值线生成算法研究[J]. 计算机工程, 1994(2):11-12.
- [7] McLain D H. Drawing contours from arbitrary data points[J]. Computer Journal, 1974, 17(4):318-324.
- [8] 王志斌,辜旭赞. 离散数据曲面构造及其显示方法[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(4):109-111.
- [9] 祁伟丽,秦新强. 基于 B 样条的平面轮廓重构闭合曲面算法[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(7):112-115.
- [10] 吴自银,高金耀. 一种基于格网的快速等值线填充算法[J]. 测绘学报, 1999, 28(4):350-354.
- [11] 刘勇奎,高云,黄有群. 一个有效的多边形裁剪算法[J]. 软件学报, 2003, 14(4):845-856.
- [12] 孙桂茹,马亮,路登平. 等值线生成与图形填充算法[J]. 天津大学学报, 2000, 33(6):816-818.
- [13] 王亚强. 等值线相关算法类库的开发与应用[J]. 气象科技, 2010, 38(4):478-483.
- [14] Shimrat M. Algorithm112: Position of point relative to polygon[J]. Communications of the Association for Computing Machinery, 1962, 5(8):434-438.