

# 流域型灾害特征信息提取及动态预警算法

焦方源\*, 李 佳, 李 薇

(西华师范大学 计算机学院, 四川 南充 637009)

(\*通信作者电子邮箱 756477543@qq.com)

**摘 要:**针对目前流域型灾害特征信息提取和动态预警方法不能满足实践需要的现实问题,为了提升流域型灾害特征信息提取和灾害动态预警技术水平,以典型流域型灾害为研究对象,剖析了流域型灾害性能参数计算及动态预警实现的核心环节,提出了基于无线传感网络(WSN)的流域型灾害特征信息计算方法,设计了流域型灾害动态预警信息处理算法。以典型流域型灾害的性能参数采样值为数据,运用 Matlab 仿真平台对其核心性能参数进行了仿真分析。实验结果表明,所提算法能够有效捕捉流域型灾害的核心动态特征信息,提高了流域型灾害动态预警指示的准确度。

**关键词:**流域灾害;信息提取;动态预警;算法设计;仿真分析

**中图分类号:** TN957.52; TP391 **文献标志码:** A

## Characteristic information extraction and dynamic warning algorithm of watershed disaster

JIAO Fangyuan\*, LI Jia, LI Wei

(School of Computer, China West Normal University, Nanchong Sichuan 637009, China)

**Abstract:** For the problem that the current methods could not meet the practical needs in the field of dynamic characteristic information extraction and watershed disaster early warning, in order to enhance the technology level of characteristics information extraction and dynamic early warning process, an in-depth study was conducted on the core aspects of performance parameters calculation and the implementation of dynamic early warning depending on the typical watershed disaster, the performance parameters calculation method based on Wireless Sensor Network (WSN) was proposed and the algorithm to deal with disaster dynamic early warning information was designed. With the performance parameters sampled data of typical watershed disaster, the simulation analysis of core performance parameters of the watershed disaster was carried out by using Matlab simulation platform. The experimental results show that the proposed algorithm can capture the dynamic core characteristics information of watershed disaster effectively and improve the dynamic early warning indication accuracy of watershed disaster.

**Key words:** watershed disaster; information extraction; dynamic warning; algorithm design; simulation analysis

## 0 引言

近年来,以洪水和泥石流为代表的流域型灾害频繁发生,灾害信息提取与预警技术成为社会极为关注的课题。然而,目前学术界仅仅对此进行了局部范围的相关研究,如文献[1]对灾害应急通信系统结构与性能进行了研究,但没有针对灾害预警过程进行深入分析;文献[2-4]探讨了山洪预警机制并进行了信息系统设计,但没有论述具体的预警算法;文献[5-7]对灾害预警实现及其智能化进行了论述,但没有论述灾害特征信息提取相关的环节。综上所述,目前学术界尚无针对流域型灾害信息提取与动态预警方面的深入研究。于是,本文着重论述流域型灾害特征信息提取、核心参数计算和预警实现方法,设计实现流域型灾害动态预警的信息处理算法,并对其预警性能进行仿真分析。

## 1 流域型灾害性能指标与参数设置

### 1.1 预备知识

设地球球心为三维直角坐标系的原点,球心与赤道上0

经度点的连线为  $X$  轴,球心与赤道上东经 90 度点的连线为  $Y$  轴,球心与北极点的连线为  $Z$  轴,则由地理学相关知识可知地面上点的任意两点  $A(l_1, m_1, n_1)$ ,  $B(l_2, m_2, n_2)$  直角坐标与其经纬度的关系为:

$$\begin{cases} l_1 = R \cos \alpha_1 \cos \beta_1 \\ m_1 = R \cos \alpha_1 \sin \beta_1 \\ n_1 = R \sin \alpha_1 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} l_2 = R \cos \alpha_2 \cos \beta_2 \\ m_2 = R \cos \alpha_2 \sin \beta_2 \\ n_2 = R \sin \alpha_2 \end{cases} \quad (2)$$

其中: $R$  为地球半径; $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  为纬度,北纬取正,南纬取负; $\beta_1$ 、 $\beta_2$  为经度,东经取正,西经取负。由式(1)、(2)可知,当  $\alpha_1 \rightarrow \alpha_2$ ,  $\beta_1 \rightarrow \beta_2$  时有:

$$n_1 - n_2 = R \sin \alpha_1 - R \sin \alpha_2 = 2R \sin \left( \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2} \right) \cdot$$

$$\cos \left( \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \right) \approx R(\alpha_1 - \alpha_2) \cos \alpha_1 \quad (3)$$

收稿日期:2014-06-03;修回日期:2014-08-08。 基金项目:四川省教育厅自然科学重点项目(11ZA041)。

作者简介:焦方源(1969-),男,四川渠县人,副教授,硕士,主要研究方向:通信传输、智能信息处理; 李佳(1982-),女,四川石棉人,讲师,硕士,主要研究方向:计算机网络、系统设计; 李薇(1982-),女,四川广安人,讲师,硕士,CCF 会员,主要研究方向:图像处理、模式识别。

$$m_1 - m_2 = R \cos \alpha_1 \sin \beta_1 - R \cos \alpha_2 \sin \beta_2 = R \cos \alpha_1 \cdot (\sin \beta_1 - \sin \beta_2) \approx R(\beta_1 - \beta_2) \cos \alpha_1 \cos \beta_1 \quad (4)$$

$$l_1 - l_2 = R \cos \alpha_1 \cos \beta_1 - R \cos \alpha_2 \cos \beta_2 = -R(\beta_1 - \beta_2) \cos \alpha_1 \sin \beta_1 \quad (5)$$

由空间几何知识可知,当 $A(l_1, m_1, n_1), B(l_2, m_2, n_2)$ 两点相距很近时,它们之间的球面距离(弧长)逼近它们之间的直线距离(弦长)。此时,AB间的球面距离 $S$ 为:

$$S \approx \sqrt{(l_1 - l_2)^2 + (m_1 - m_2)^2 + (n_1 - n_2)^2} \approx R \cos \alpha_1 \sqrt{(\alpha_1 - \alpha_2)^2 + (\beta_1 - \beta_2)^2} = r \sqrt{(\alpha_1 - \alpha_2)^2 + (\beta_1 - \beta_2)^2}; \quad r = R \cos \alpha_1 \quad (6)$$

综上所述,地球表面相距较近的两点,其球面距离可用这两点的经度和纬度之差来表示,而且和直角坐标系中这两点的直线距离具有完全相同的形式。如果令

$$\begin{cases} x = r\beta \\ y = r\alpha \end{cases} \quad (7)$$

则式(6)可转化为:

$$S = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (8)$$

最后得到结论:在面积远远小于地球表面面积的局部区域内,可将地球弧形表面展开,近似视为 $X$ - $Y$ 二维平面进行研究。

## 1.2 流域型灾害性能参数设置

随着时间的推移和地理地形的变化,流域型灾害在运动过程中会呈现出不同的物理特点与性能<sup>[8]</sup>。为准确把握与捕捉灾害主体的实时特性,现用运动速度、运动方向等一系列参数来描述灾害主体的物理性能与特点。性能参数设置如表1所示。

表1 灾害性能参数

性能指标	参数	性能指标	参数	性能指标	参数
运动速度	$V$	流域长度	$L$	洪峰高度	$H$
运动方向	$\varphi$	流域宽度	$W$	增减速度	$K$
灾害位置	$D$	流体密度	$\rho$	加速度	$A$

另一方面,不同预警目标区域也通常具有不同的地理特点及灾害防御能力,可用包含地理位置、防御余量等性能参数描述预警抵御灾害能力,如表2所示。

表2 防御能力参数

性能指标	参数	性能指标	参数	性能指标	参数
目标位置	$O$	幅员半径	$r$	预警半径	$r_a$
防御余量	$E_i$	高危面积	$S$		
限流宽度	$W_i$	流域湾度	$G$		

## 2 基于WSN的流域型灾害特征信息提取

### 2.1 流域型灾害特征信息提取思路

为准确提取灾害信息,将液位、速度、压力等参量测量功能融合到智能无线传感器中,再将这些智能无线传感器按一定间距分散布置在流域型灾害高发区域,使其构成一个局部区域的WSN网格网络,每一个传感器都成为WSN的一个智能节点,定时发布其监测到的关于灾害洪峰高度、运行速度、运行方向等信息。由于每个节点位置可用纬度和经度的组合来准确标识,例如 $Z(\alpha, \beta)$ 。由式(8)可知,在面积远远小于

地球表面积的局部区域时(监测局部区域都能满足此条件),地球弧形表面可用其展开后的平面来等效逼近。所以,网格型监测网络各节点位置信息,可在 $X$ - $Y$ 二维平面用点 $(x, y)$ 来描述,如图1所示。

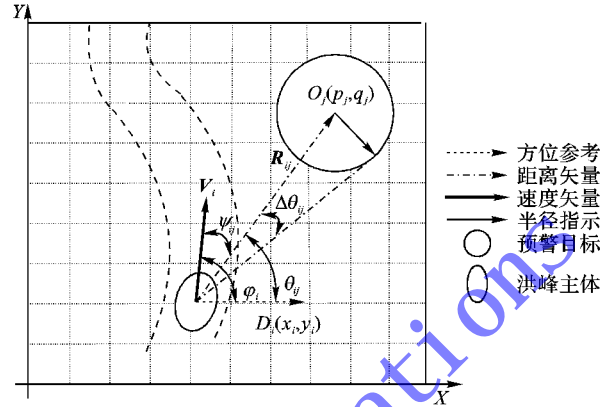


图1 灾害信息提取示意图

### 2.2 流域型灾害特征信息提取

灾害主体通常由多个洪峰构成,在沿特定流域运动过程中,其相关信息随时间而不断变化;而灾害流域附近的预警目标区域相关信息则通常是恒定不变的。为简化分析,现假设当前时刻灾害主体中第 $i$ 洪峰周围共有 $N$ 个节点监测到灾害信息,这 $N$ 个节点的位置分别为 $D_{ik}(\alpha_{ik}, \beta_{ik}) (i = 1, 2, \dots, N; k = 1, 2, \dots, N)$ ;再假设该流域中共有 $N$ 个预警目标,其中第 $j$ 个预警目标区域中心位置为 $O_j(\alpha_j, \beta_j) (j = 1, 2, \dots, N)$ ,则由式(7)可分别转化为 $X$ - $Y$ 二维平面 $D_{ik}(x_{ik}, y_{ik})$ 和 $O_j(p_j, q_j)$ ,如图1所示。由此可求取灾害主体相关信息如下:

1) 灾害主体中第 $i$ 洪峰中心位置。由于有 $N$ 个节点监测到灾害主体信息,这些节点产生不同的位置信息 $D_{ik}(x_{ik}, y_{ik})$ ,因此,本文采用灾害主体的几何中心来表示灾害主体中心位置 $D_i(x_i, y_i)$ 。即有:

$$\begin{cases} x_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{ik} \\ y_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N y_{ik} \end{cases}; \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (9)$$

其中: $x_{ik} = r\beta_{ik}, y_{ik} = r\alpha_{ik}$ 。

2) 灾害主体中第 $i$ 洪峰运动速度、方向及加速度。第 $i$ 灾害主体沿着特定流域运动过程中,必然会引起所在地理位置和运动速度的不断改变,即 $D_i(x_i, y_i)$ 和 $V_i$ 的不断改变,而且运动过程必须经历一定的时间,据此可测算出灾害主体的运动加速度。设 $t = t_0, t = t_0 + T (T$ 为采样周期,下同)两时刻点,第 $i$ 灾害洪峰周围 $N$ 个节点监测到当前时刻的运动速度为 $V_{ik} (k = 1, 2, \dots, N)$ ,则两时刻点第 $i$ 灾害主体的运动速度用取其当前时刻点所有监测点的最大值表示。即有:

$$\begin{cases} V_{i0} = \max \{ V_{i0k} \} \\ V_{iT} = \max \{ V_{iT k} \} \end{cases}; \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

按式(9)方法计算出灾害主体的地理位置分别为 $D_{i0}(x_{i0}, y_{i0}), D_{iT}(x_{iT}, y_{iT})$ ,则由几何知识及运动学原理可计算出其运动加速度、运动方向分别为:

$$\begin{cases} A_i = \frac{1}{T} \cdot (V_{iT} - V_{i0}) \\ \varphi_i = \arctan \left( \frac{y_{iT} - y_{i0}}{x_{iT} - x_{i0}} \right) \end{cases} \quad (11)$$

注 本文中  $\max\{\}$  为取最大值运算;  $\min\{\}$  为取最小值运算;  $\arctan[\ ]$  为求反正切运算。下同, 不再说明。

3) 灾害主体中第  $i$  洪峰流域长度。流域长度是指灾害第  $i$  洪峰沿着特定流域所占据的实际距离长度。由于灾害洪峰在运动过程中的实际形状可能因为地形而随机变化, 本文采用网格网络中能够监测到灾害信息的 4 个相距最远位置构建矩形, 用其对角线来逼近其可能达到的实际长度。即有:

$$L_i = \sqrt{(x_{imax} - x_{imin})^2 + (y_{imax} - y_{imin})^2} \quad (12)$$

其中:

$$\begin{cases} x_{imax} = r \cdot \max\{\beta_{ik}\} \\ y_{imax} = r \cdot \max\{\alpha_{ik}\} \end{cases}; \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (13)$$

4) 灾害主体中第  $i$  洪峰宽度。由于灾害主体在运动过程中, 流域宽度虽然在很大程度上受到当地地形的影响, 但在灾害主体当前位置近距离范围内, 洪峰高度的变化量可忽略不计, 此时可用图 2 所示坐标系中灾害主体所占据位置的横坐标最大差值和纵坐标最大差值中的较大者来表示。即有:

$$W_i = \max\{|x_{imax} - x_{imin}|, |y_{imax} - y_{imin}|\} \quad (14)$$

5) 灾害主体中第  $i$  洪峰高度。洪峰高度指灾害主体液位的最大值, 用 WSN 节点提供的液位高度信息来确定。即有

$$H_i = \max\{H_{ik}\}; \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (15)$$

6) 灾害主体中第  $i$  洪峰流体密度。流体密度是指当前灾害主体对整个体积计算出的平均密度, 对于判定流域灾害的性质(如区分洪水或泥石流等)起着重要作用。设灾害主体中第  $i$  灾害主体周围  $N$  个节点监测到当前时刻的单位面积液体压力(或浮力)为  $F_{ik}$  ( $k = 1, 2, \dots, N$ ), 则由浮力学相关知识可知, 第  $i$  灾害主体平均流体密度为:

$$\rho_i = \frac{1}{9.8H_i} \cdot \max\{F_{ik}\}; \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (16)$$

其中 9.8 为重力加速度。

7) 灾害主体中第  $i$  洪峰流量增减速度。增减速度指当前灾害主体在运动过程中所呈现出的洪峰高度数值速率。对第  $i$  灾害主体, 设  $t = t_0, t = t_0 + T$  两时刻点, 由 WSN 测得的洪峰高度分别为  $H_{i0}, H_{iT}$  ( $k = 1, 2, \dots, N$ ), 则洪峰增减速度为:

$$K_i = \frac{W_i}{T} \cdot \max\{|H_{iT}V_{iT} - H_{i0}V_{i0}|\}; \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (17)$$

### 3 流域型灾害核心参数计算与动态预警技术

流域型灾害动态预警技术是指流域型灾害发生后, 在沿着特定流域路线推进的过程中, 在灾害性能参数不断变化的情况下, 为避免或尽量减小前方可能波及区域内生命和财产损失而采用的灾害信息快速传输方案、处理算法和实现方法的总称<sup>[9]</sup>。根据式(8)及相关结论, 将流域型灾害高发区域内所有重要目标置于网格型网络中, 通过网格型网络模型分析计算灾害预警核心技术参数, 提出灾害预警判定方法。为分析灾害预警技术原理, 假设某流域型灾害高发区域内有  $N$  个重要监测目标, 每个目标区域的幅员半径及其在网格型网络中的位置分别为  $r_j, O_j(p_j, q_j)$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ); 现遭受由  $N$  个洪峰组成的流域型灾害袭击, 这些洪峰在网格型网络中的位置为  $D_i(x_i, y_i)$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ), 如图 2 所示。

现选取灾害主体中第  $i$  个洪峰和第  $j$  个预警目标为分析对象, 则流域型灾害预警技术参数及其预警判定方法如下。

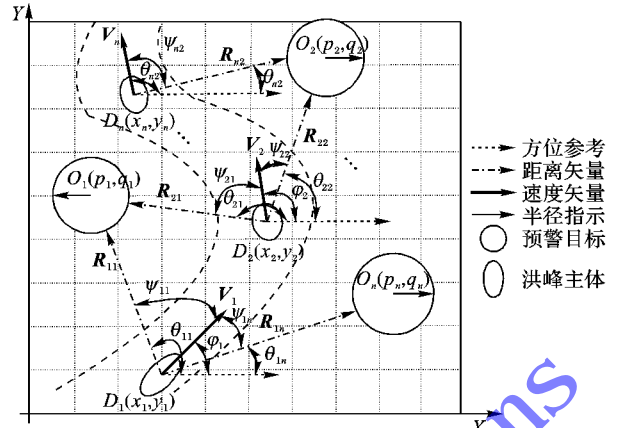


图2 灾害预警技术原理示意图

1) 第  $i$  个洪峰对第  $j$  个预警目标区域目标距离与方位。方位判定根据灾害主体的方向变化特点和当前预警区域的具体位置, 判定当前预警区域是否位于本次灾害的危及范围。对于不会受到本次灾害直接影响的区域, 本算法不对其进行预警服务, 以提高真正受到危险威胁区域的预警服务速度和质量。对图 2 所示情形, 现假设第  $i$  个洪峰即将到达第  $j$  个预警目标区域, 其中心位置为  $O_j(p_j, q_j)$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ), 则从灾害主体当前位置  $D_i(x_i, y_i)$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) 到前方预警区域的中心位置  $O_j(p_j, q_j)$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ) 的直线距离(预警距离)、方位角度分别为:

$$\begin{cases} |R_{ij}| = \sqrt{(x_i - p_j)^2 + (y_i - q_j)^2} \\ \theta_{ij} = \arctan\left(\frac{q_j - y_i}{p_j - x_i}\right) \end{cases}; \quad i, j = 1, 2, \dots, N \quad (18)$$

当  $|R_{ij}| < r_{oj}$  时, 表明第  $i$  个洪峰已经进入第  $j$  个预警目标区域预警范围。第  $j$  个预警目标区域  $O_j(p_j, q_j)$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ) 的有效半径对当前灾害主体位置  $D_i(x_i, y_i)$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) 产生的最大偏角(预警方位)为:

$$\Delta\theta_{ij} = \arctan(r_j / \sqrt{(x_i - p_j)^2 + (y_i - q_j)^2 - r_j^2}); \quad i, j = 1, 2, \dots, N \quad (19)$$

当前灾害主体速度矢量  $V_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) 相对于前方预警区域中心位置为  $O_j(p_j, q_j)$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ) 的方位夹角(来袭方位)为:

$$\psi_{ij} = \varphi_i - \theta_{ij}; \quad i, j = 1, 2, \dots, N \quad (20)$$

预警判定: 当  $\psi_{ij} \leq |\theta_{ij}|$  且  $|R_{ij}| < r_{oj}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, N$ ) 时, 第  $i$  个洪峰对第  $j$  个预警目标可能产生险情。

2) 第  $i$  个洪峰进入第  $j$  个预警目标区域后的流域长度。洪峰流域长度是指洪峰经特定流域到达前方预警区域后的实际长度, 数量上应该包含该洪峰原有长度、由于支流汇集等原因引起的自然增量及由于目标区域由于地形突变引起的突然增量。以指第  $i$  个洪峰到达第  $j$  个预警目标区域的情形为例, 则到达第  $j$  个预警目标区域前流域实际长度为:

$$L_{ij} = \frac{W_i H_i L_i + T_{ij} K_i}{W_j H_j}; \quad i, j = 1, 2, \dots, N \quad (21)$$

3) 第  $i$  个洪峰进入第  $j$  个预警目标区域后的洪峰高度。洪峰高度是指灾害主体到达预警区域后的实际高度预测值, 它是灾害对预警区域带来灾难的最直接因素, 此参数可作稍微高估, 绝不能被低估, 否则会产生严重的灾害性后果。计算洪



峰高度的方法为根据灾害体的当前洪峰高度、流量增减度和目标区域限流宽度计算,则由式(14)、(15)、(17)有:

$$H_{ij} = \frac{W_i H_i |V_i|}{W_j (|V_i| + A_i T_{ij})}; \quad i, j = 1, 2, \dots, N \quad (22)$$

预警判定:当  $H_{ij} > E_j$  ( $i, j = 1, 2, \dots, N$ ) 时,第  $i$  个洪峰对第  $j$  个预警目标可能产生险情。

4) 第  $i$  个洪峰对第  $j$  个预警目标区域的到达时间与持续时间。到达时间  $T_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, N$ ) 是指第  $i$  个洪峰到达第  $j$  个预警目标区域边界所需要的最短时间;持续时间  $\Delta T_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, N$ ) 是指第  $i$  个灾害体流过第  $j$  个预警区域的大致时间。到达时间对预警区域人们的及时撤离起着至关重要的指导作用,计算到达时间时只能提前,不能滞后。到达时间的计算方法为根据灾当前灾害主体所在位置到前方预警区域的实际距离(本文用直线距离代替,以确保计算出的时间不滞后)和灾害体沿流域的运动速度,计算出灾害体到达预警区域所需要的准确时间。由式(10)、(12)、(18)有:

$$\begin{cases} T_{ij} = \frac{|R_{ij}| - r_j}{|V_i|} = \frac{\sqrt{(x_i - p_j)^2 + (y_i - q_j)^2} - r_j}{|V_i|}; \\ \Delta T_{ij} = \frac{2r_j + L_{ij}}{|V_i| + A_i T_{ij}} \end{cases}; \quad i, j = 1, 2, \dots, N \quad (23)$$

5) 第  $i$  个洪峰对第  $j$  个预警目标区域的冲击强度。冲击强度  $U_{ij}$  第  $i$  个灾害体流过第  $j$  个预警区域时在单位面积上产生的压力,即压强。于是,有:

$$U_{ij} = 9.8 \frac{W_j H_{ij} L_{ij} \rho_i}{\Delta T_{ij} W_j H_{ij}} = 9.8 \frac{L_{ij} \rho_i}{\Delta T_{ij}}; \quad i, j = 1, 2, \dots, N \quad (24)$$

#### 4 流域型灾害预警算法设计

根据 WSN 节点对当前灾害主体的监测,得到当前灾害主体的各种信息,如表 1 所示;再读入前方预警目标区域相关信息,如表 2 所示。运用式(18)~(24)的计算方法,对灾害预警所必需的目标距离、目标方位、到时间、洪峰高度、冲击强度、持续时间等信息进行计算;然后,再将得到的关于当前灾害主体到达前方目标区域后的灾害特征信息和前方预警目标区域的防御信息相对比,确认有灾害发生后再向前方预警区域发出灾害预警信息<sup>[10]</sup>。详细流程如图 3 所示。

表 3 流域型灾害各洪峰初始信息

洪峰序号	运动速度 $V/(m \cdot s^{-1})$	运动方向 $\varphi/\text{rad}$	灾害位置 $D$ $(x, y)/m$	流域长度 $L/m$	流域宽度 $W/m$	流体密度 $\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	洪峰高度 $H/m$	增减速度 $K/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	加速度 $A/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$
1	4	1.00	(3600, 300)	30	15	1.10	5	5	0.010
2	5	0.85	(2200, 2000)	20	10	1.20	8	3	0.010
3	6	0.80	(300, 4800)	35	5	1.05	7	4	0.015
4	7	1.30	(4000, 6000)	20	10	1.30	4	3	0.020
5	3	0.95	(6000, 8000)	25	15	1.15	6	6	0.008

#### 5.2 仿真数据分析

为对仿真结果进行正确分析,现将仿真曲线含义如下。

1) 目标距离与预警距离。目标距离指灾害当前位置到预警目标的距离;预警距离指确保目标区域安全的最小防御距离。若前者大于后者,则目标区域安全;反之,则危险。

2) 来袭方位与预警方位。来袭方位指当前灾害位置相对于预警目标中心的方位角度;预警方位指整个预警区域相对于当前灾害位置的方位差。若前者大于后者,则目标区域

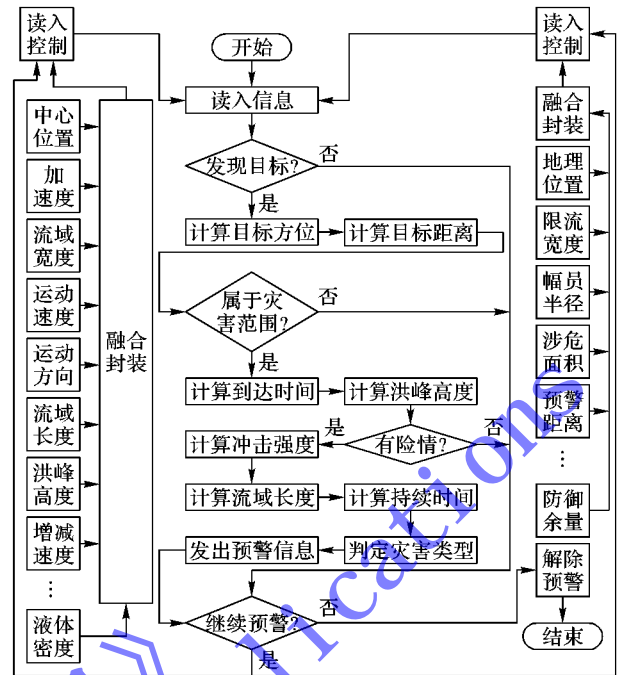


图 3 流域型灾害预警算法流程

### 5 仿真实验设计与数据分析

#### 5.1 仿真实验设计

由于流域型灾害在推进过程中通常会产生多个鱼贯而行的洪峰,而且这些洪峰的实际参数值会随时间不断变化,具有一定的随机特性<sup>[11]</sup>;而灾害途经流域附近的预警目标区域则处于稳定状态,其参数也为恒定值<sup>[12]</sup>。根据这一特征,为直观地体现本预警系统及信息处理算法的性能特点,假定某狭长流域沿线有 5 个城镇(预警目标区域),现有由 5 个洪峰组成的流域型灾害要通过该狭长流域,取本次流域灾害中各洪峰初始参数值及预警目标区域相关数据信息如表 3~4 所示,运用式(18)~(24)的参数计算方法,通过 Matlab 仿真平台编写仿真程序,对灾害推进过程中  $t = T, t = 2T$  ( $T$  为预警采样周期,本次仿真取  $T = 50 \text{ s}$ ) 两个时刻点进行仿真,得到预警仿真结果分别如图 4~5 所示。

安全;反之,则危险。

3) 洪峰高度与防御余量。洪峰高度指当前灾害到达目标区域时的可能高度;防御余量指目标区域能够承受的安全洪峰高度。若前者小于后者,则目标区域安全;反之,则危险。

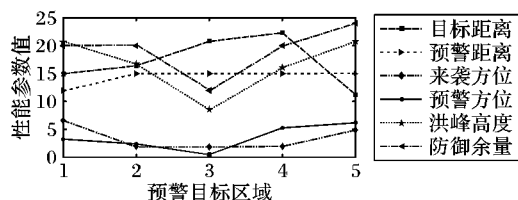
在实际的灾害预警实践中,根据目标距离与预警距离(简称为距离)、来袭方位与预警方位(简称为方位)及洪峰高度与防御余量(简称为高度)三者的状态信息,运用综合分析的方法对灾情进行预警判定。方法说明如表 5 所示。

表4 预警目标区域灾害防御信息

区域 序号	目标 位置 $O$ ( $p, q$ )/m	防御 余量 $E_t$ /m	限流 宽度 $W_t$ /m	幅员 半径 $r$ /m	高危 面积 $S$ /m <sup>2</sup>	流域 湾度 $G$ /rad	预警 半径 $r_a$ /m
1	(2000,800)	20	18	500	10000	2.2	1200
2	(3500,3000)	20	9	400	20000	2.0	1500
3	(2000,6000)	25	10	100	5000	1.9	1500
4	(5000,8000)	20	9	1300	40000	1.7	1500
5	(7000,8500)	24	10	800	30000	1.8	1500

表5 预警结论判定方法说明

状态类别	距离	方位	高度	判定结论
1	安全	安全	安全	不需要预警
2	安全	危险	危险	需要预警
3	安全	安全	危险	需要预警
4	危险	危险	危险	需要预警
5	危险	安全	安全	不需要预警
6	危险	危险	安全	不需要预警

图4  $t=T$ 时流域型灾害预警算法仿真曲线

对图4,运用表5所示的分析方法可以判定如下。

当  $t=T$  时:

预警目标区域1。目标距离大于预警距离,来袭方位大于预警方位,但洪峰高度大于防御余量,判定为有风险,需要立即向该地区发出灾害预警。

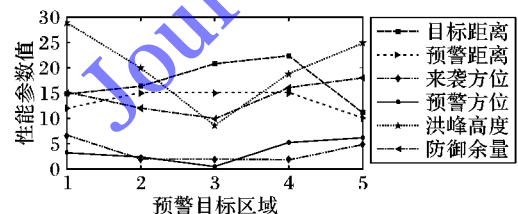
预警目标区域2。目标距离大于预警距离,来袭方位小于预警方位,洪峰高度小于防御余量,判定为安全。

预警目标区域3。目标距离大于预警距离,来袭方位大于预警方位,洪峰高度小于防御余量,判定为安全。

预警目标区域4。目标距离大于预警距离,虽来袭方位小于预警方位,但洪峰高度小于防御余量,判定为安全。

预警目标区域5。目标距离小于预警距离,来袭方位大于预警方位,洪峰高度小于防御余量,判定为安全。

对于图5的分析方法与此相同,故不再赘述。

图5  $t=2T$ 时流域型灾害预警算法仿真曲线

## 6 结语

针对流域型灾害的运动特点,分析了流域型灾害的性能参数,提出了相应的参数计算方法。根据WSN在局部区域内的网络节点可用平面坐标系统进行分析的原理,通过对流域型灾害动态特征的深入分析,设置了准确表征流域型灾害动态特征的性能参数,进行了精确的分析和计算。以此为基础,

提出了实现流域型灾害动态预警的信息处理算法,并用Matlab平台进行了性能仿真设计。通过仿真曲线分析,证实了本算法在灾害预警中的有效性。

### 参考文献:

- [1] JIAO F. Chaotic spread spectrum-based model design and simulation of multi-user emergency communication system [J]. Journal of Computer Applications, 2011, 31(1): 235-238. (焦方源. 基于混沌扩频的多用户应急通信系统模型设计与仿真分析[J]. 计算机应用, 2011, 31(1): 235-238.)
- [2] ZHANG C, GONG M. Mountain torrent disaster prediction and alarming system based on the IoT [J]. Communications Technology, 2013, 46(2): 62-66. (张传武, 公岷. 基于物联网的山洪地质灾害预警系统[J]. 通信技术, 2013, 46(2): 62-66.)
- [3] YE J, LI Z, CHANG L. Research and application of flash flood early warning method based on dynamic critical precipitation [J]. Meteorological Monthly, 2014, 40(1): 101-107. (叶金印, 李致家, 常露. 基于动态临界雨量的山洪预警方法研究与应用[J]. 气象, 2014, 40(1): 101-107.)
- [4] XIAO Y. Study on debris flow early warning and forecast base on the effectiveness of the engineering [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2013. (肖洋. 泥石流监测预警方法与信息发布平台研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2013.)
- [5] LIU J, CHEN X. Construction and applied research of intelligent tourism disaster warning and disaster relief platform [J]. Economic Geography, 2011, 31(10): 1745-1749. (刘军林, 陈小连. 智能旅游灾害预警与灾害求助平台的构建与应用研究[J]. 经济地理, 2011, 31(10): 1745-1749.)
- [6] CAO H, WANG X. Some thinking on early-warning system for urban disaster [J]. Journal of Catastrophology, 2010, 25(S0): 321-324. (高惠瑛, 王璇. 我国城市灾害预警系统建设的思考[J]. 灾害学, 2010, 25(S0): 321-324.)
- [7] CHEN S, ZHANG Y, ZHANG Y. Design and implementation of intelligent receiving system for early warning information [J]. Computer Engineering and Design, 2014, 35(1): 339-343. (陈苏婷, 张燕, 张艳艳. 气象预警信息智能接收处理系统的设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2014, 35(1): 339-343.)
- [8] JIA S. Research and application of enterprise-level meteorological and geological disaster warning technology [D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2013. (贾韶辉. 企业级气象与地质灾害预警技术研究与应用[D]. 北京: 中国地质大学, 2013.)
- [9] CHEN S-C, WU C-Y. Debris flow disaster prevention and mitigation of non-structural strategies in Taiwan [J]. Journal of Mountain Science, 2014, 11(2): 308-322.
- [10] YU X, YU Y, JIANG S. Study of early warning monitoring system in landslide disaster based on wireless sensor network [J]. Journal of University of South China: Science and Technology, 2014, 28(1): 34-39. (余修武, 余员琴, 江珊. 基于无线传感器网络的滑坡地质灾害预警监测系统研究[J]. 南华大学学报: 自然科学版, 2014, 28(1): 34-39.)
- [11] JIAO F, LI W, LI J. State optimization and performance simulation of adaptive MIMO-OFDM communication system based on CPSO-PF [J]. Computer Engineering and Science, 2013, 35(8): 52-59. (焦方源, 李薇, 李佳. 自适应MIMO-OFDM通信系统中基于CPSO-PF的状态优化与性能仿真[J]. 计算机工程与科学, 2013, 35(8): 52-59.)
- [12] LI Y. Research on geological disaster warning system based on ZigBee and GSM technology [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2013. (李跃鹏. 基于ZigBee/GSM技术的地质灾害预警系统研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.)