

文章编号: 1000-5692(2007)05-0614-05

# 基于 GIS 的林火蔓延模拟的实现

宋丽艳<sup>1</sup>, 周国模<sup>1</sup>, 汤孟平<sup>1</sup>, 余树全<sup>2</sup>, 郑文达<sup>3</sup>, 刘学松<sup>4</sup>

(1. 浙江林学院 环境科技学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江林学院 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300;  
3. 浙江省临安市林业局, 浙江 临安 311300; 4. 浙江省建德市林业局, 浙江 建德 311600)

**摘要:** 为定量描述林火行为以辅助扑救决策, 利用地理信息系统(GIS)软件建立林火蔓延模拟的空间背景并生成相应数据, 运用林火蔓延模型且综合考虑火场地形、气象及可燃物类型等因子, 采用点到点的传播方式, 用 Visual Basic 6.0 开发软件, 最终实现林火蔓延的动态模拟。模拟的结果表明, 在地形条件一定的情况下, 林火的初始蔓延速度和风速的大小对林火蔓延有明显的影响, 不同的初始蔓延速度会导致不同的蔓延结果, 随着初始速度的增大, 蔓延面积也相应增加; 不同的风速形成的火场面积不同, 随着风速的增大, 蔓延面积也相应增加, 但火场的形状相似; 坡向不同, 接受阳光的照射不同, 温度、湿度、土壤和植被都有差异, 一般南坡比北坡更容易燃烧且蔓延速度快; 不同的坡位会导致林地内水分含量不同, 进而也会影响林火的蔓延速度。图 5 参 12

**关键词:** 森林保护学; 森林火灾; 林火蔓延模型; 模拟

**中图分类号:** S762      **文献标志码:** A

森林火灾是一种常见的自然灾害。林火的自由蔓延和扩展, 给森林和生态环境带来危害的同时也给人类的生存带来了巨大挑战。森林火灾的危害性极大, 且具有突发性, 灾害发生地点的随机性, 并且短时间内就能造成巨大损失等特点<sup>[1]</sup>。一旦火情出现, 就必须尽快根据蔓延模型对火场的蔓延方向与距离进行预测, 进而为火灾的扑救与指挥提供决策支持。林火蔓延是一个多相、多组分可燃物在各种气象条件和地形影响下的燃烧运动的极其复杂的现象<sup>[2]</sup>。目前, 国内外提出的比较有影响力的林火蔓延模型主要有美国的 Rothermel 模型、澳大利亚的 McArthur 模型、加拿大的国家林火蔓延模型以及我国王正非与毛贤敏的组合模型<sup>[3-5]</sup>。王正非与毛贤敏的组合模型是基于林火燃烧特征的模型, 其参数较少, 且考虑了地形与风向的组合。本文通过对火场的可燃物类型、地形、气象等因子的综合分析, 并结合王正非与毛贤敏的组合模型, 用 Visual Basic 6.0 开发程序进行蔓延趋势的预测, 从而实现林火的动态模拟。

## 1 研究区概况

研究区位于浙江省云和县云和镇, 火场的主要树种是马尾松 *Pinus massoniana*。马尾松是易燃树种, 一旦燃烧, 其蔓延速度很快。此次火灾发生在 2005 年 4 月 5 日, 起火点在 1:1 万地形图上的位置

收稿日期: 2006-11-14; 修回日期: 2007-04-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30471390); 浙江省自然科学基金资助项目(Y305261); 浙江省林业厅重点招标项目(04A02)

作者简介: 宋丽艳, 硕士研究生, 从事森林经理学研究。E-mail: sly2004@126.com. 通信作者: 汤孟平, 教授, 博士, 从事森林经理学等研究。E-mail: goodtmp@yahoo.com.cn

是 (456 776 m, 3 111 830 m), 位于东西走向山的南坡。火灾发生当天的最高气温是 28.3 °C, 最小相对湿度是 23%, 火灾发生时的风速近似为  $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 风向是东北偏北, 火灾燃烧持续时间为 50 min。

## 2 研究方法

### 2.1 林火蔓延模型

采用王正非和毛贤敏的组合模型。王正非根据大兴安岭有关材料进行回归分析, 得出林火蔓延的初始速度为<sup>[6]</sup>:

$$R_0 = 0.0299T + 0.047W + 0.009(100 - h) - 0.304 \quad (1)$$

式(1)中:  $R_0$  是林火蔓延的初速度,  $T$  是每天的最高气温,  $W$  是中午的风力(级),  $h$  是每天的最小相对湿度(%)。

以下是王正非和毛贤敏的组合模型, 是林火在上坡、下坡、左平坡、右平坡及风方向的蔓延速度<sup>[7]</sup>。

$$R_{\text{上坡}} = R_0 \times K_s \times \exp [3.533 (\text{tg} \phi)^{1.2}] \times \exp [0.178 V \cos \theta]; \quad (2)$$

$$R_{\text{下坡}} = R_0 \times K_s \times \exp [-3.533 (\text{tg} \phi)^{1.2}] \times \exp [0.178 V \cos (180^\circ - \theta)]; \quad (3)$$

$$R_{\text{左平坡}} = R_0 \times K_s \times \exp [0.1783 V \cos (\theta + 90^\circ)]; \quad (4)$$

$$R_{\text{右平坡}} = R_0 \times K_s \times \exp [0.1783 V \cos (\theta - 90^\circ)]; \quad (5)$$

$$R_{\text{风方向1}} = R_0 \times K_s \times \exp [3.533 (\text{tg} (\phi \cos \theta))^{1.2}] \times \exp [0.1783 V] \quad (6)$$

(当  $\theta = 0 \sim 90^\circ$  或  $270 \sim 360^\circ$ );

$$R_{\text{风方向2}} = R_0 \times K_s \times \exp [-3.533 (\text{tg} (\phi \cos (180^\circ - \theta)))^{1.2}] \times \exp [0.1783 V] \quad (7)$$

(当  $\theta = 90 \sim 270^\circ$ );

其中: 风往上坡吹时使用(6)式; 风往下坡吹时使用(7)式。  $R_0$  是林火蔓延的初速度, 可以在实验室实测得, 也可通过气象要素拟合(式(1))求得。  $K_s$  是可燃物配置格局更正系数,  $V$  是风速。  $\phi$  是坡度,  $\theta$  为上坡方向顺时针方向旋转与风方向重合时所形成的角度。

### 2.2 蔓延模拟的方法

2.2.1 数据的生成 利用地理信息系统(GIS)软件输入 1:1 万的地形图并矢量化, 生成栅格数据后作为地形数据。另外林相图也用同样的方法生成相应的可燃物信息。所采用的气象数据由调查区的气象部门提供。每一个栅格所包含的属性是多维的, 包括高程、坡度、河流、道路和可燃物类型, 同时, 过火时间、蔓延方向等火行为参数也以栅格形式来存储。所有栅格使用同一精度, 这样才能保证数据使用的正确性。栅格的分辨率越小, 模拟的精度越高。此次模拟的图幅大小为 596 行  $\times$  870 列, 像元大小为  $3.266 \text{ m} \times 3.266 \text{ m}$ 。应用 ArcView 软件生成数字高程模型作为蔓延的底图, 并将各数据文件导出, 根据模型计算出速度图, 蔓延过程由 Visual Basic 6.0 编程实现。

2.2.2 蔓延过程分析 林火蔓延过程是基于栅格数据, 采用点到点的传播方式。如图 1 所示, 假设一火点  $M_0(i, j)$  向周围蔓延, 其相邻点为  $M_1, M_2, \dots, M_8$  和  $t_1, t_2, \dots, t_8$  分别是  $M_0$  烧到邻近点所需的时间, 时间的计算可由蔓延模型获得。从图 1 可以看出 2 点之间的路径有多条, 如从  $M_0$  到  $M_2$  可以通过直达, 也可以通过  $M_1$  再到达  $M_2$ , 林火蔓延倾向于时间较短的路径<sup>[8]</sup>。

采用迷宫算法, 即每个点向外扩散有 8 个方向的选择, 在计算林火蔓延路径时, 应从起火点正东向开始, 沿顺时针方向检测, 每探测到某一方向, 计算累积时间  $\sum t$ , 若  $\sum t$  小于给定的扩展蔓延时间  $t_{\text{定值}}$ , 且该方位没有走过或是原先累积时间大于  $\sum t$ , 就沿此方向走一步, 并记下所走的路径和方位, 存放在数组中, 同时将累积时间修改为  $\sum t$ 。如果探测到某一方位四周的  $\sum t$  值均

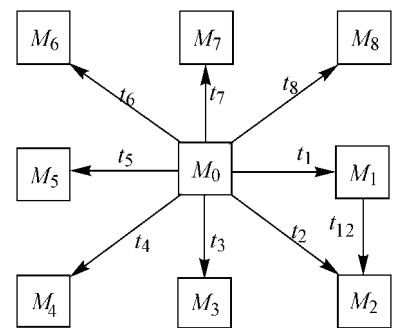


图 1 林火蔓延示意图

Figure 1 Sketch map of forest fire spreading

大于或等于  $t_{\text{定值}}$ ，则退回一步重新检测下一个方位，累积时间用二维数组存放，初值设为 0。起火点周围 8 个方向检测完之后，形成一个火场，其边界每点作为下一轮燃烧的起火点，再依照上述方法计算。每一次循环都会形成新的火场范围，当某一火场外围的每个火点的累积时间  $\sum t$  均大于或等于  $t_{\text{定值}}$ ，则蔓延过程结束。此时存放在数组中的所有点集就是满足条件的像元集合，反映在图像中就是模拟的火场<sup>[8-10]</sup>。

### 2.3 蔓延模拟的实现

输入火场的起火点位置、风速和风向；利用栅格内部编号检索到可燃物类型及地形因子；根据林火蔓延模型并通过程序计算速度图及蔓延路径，就可以进行动态模拟，从而实现林火蔓延的可视化。具体的流程<sup>[10-12]</sup>如 2 所示。

## 3 结果与分析

根据对火场的实地调查及对火灾资料数据的计算得到火场蔓延的初始速度为  $1.28 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ 。以下分别从不同初始蔓延速度、不同风速和不同坡向 3 方面来分析林火的蔓延状况，起火点用黑色圆点标志。

### 3.1 不同初始蔓延速度下的模拟结果分析

假定初始蔓延速度分别为  $0.5$  和  $0.8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ，在起火点，风速( $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )、风向(东北偏北)相同的条件下，与计算得到的初始速度  $1.28 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  的蔓延结果作比较，蔓延 50 min 后形成如图 3 所示的 3 幅火场状况图，火场面积分别为  $1.59, 2.69, 4.28 \text{ hm}^2$ 。从图 3 中可以看出，林火的初始蔓延速度对林火扩展的影响比较大，不同的初始蔓延速度会导致不同的蔓延结果，形成不同的蔓延火场图，蔓延初始速度越大，形成的火场面积越大。从中也可以看出，山脊蔓延的速度更快些，其原因是山脊林地干燥，地被物易燃，所以蔓延速度比其他坡位更快。

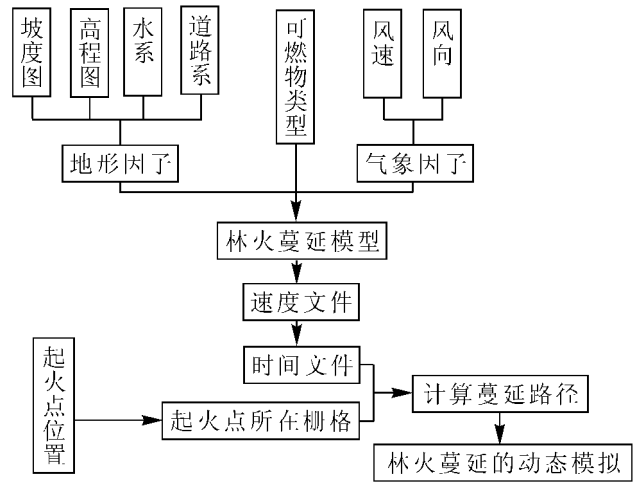
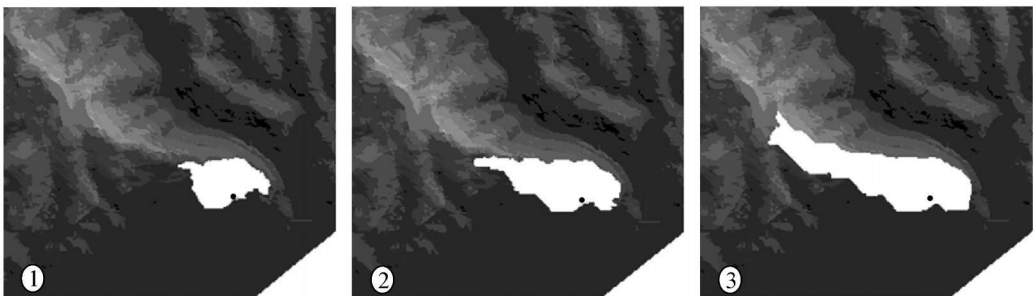


图 2 模拟流程图  
Figure 2 Flow chart of simulation



白色区域为火场，黑色圆点为起火点

图 3 不同初始蔓延速度条件下蔓延 50 min 的火场图

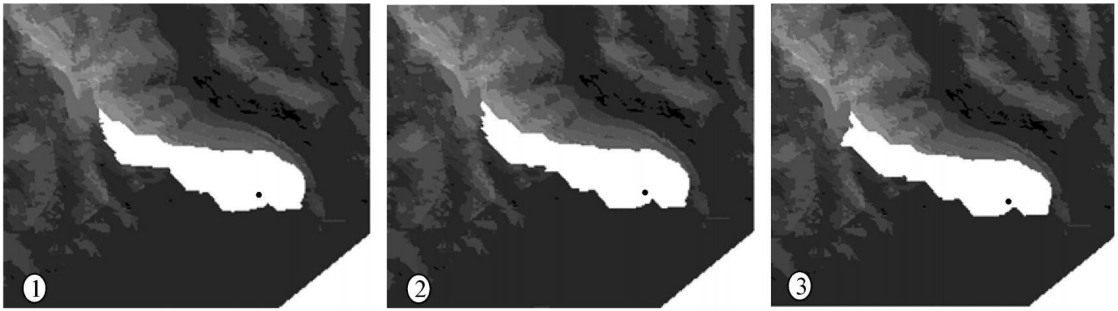
①  $0.5$ ; ②  $0.8$ ; ③  $1.28 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Figure 3 Sketch maps of fire spreading for 50 minutes with different initial spreading speeds

### 3.2 不同风速条件下的模拟结果分析

假定无风和风速为  $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  2 种情况，在起火点，初始蔓延速度 ( $1.28 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ )、风向(东北偏北)相同的条件下，与真实火场风速  $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  作比较，蔓延 50 min 后形成如图 4 所示的 3 幅

火场状况图。火场面积分别为 3.97, 4.14, 4.28  $\text{hm}^2$ 。这说明风速对林火蔓延的影响较大。从图中可以看出, 不同大小的风速形成火场的面积不同, 随着风速的增大, 蔓延面积也相应增加, 但火场形状相似。



白色区域为火场, 黑色圆点为起火点

图 4 不同风速条件下蔓延 50 min 的火场图

① 0 (无风); ② 0.5; ③  $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Figure 4 Sketch maps of fire spreading for 50 minutes with different wind speeds

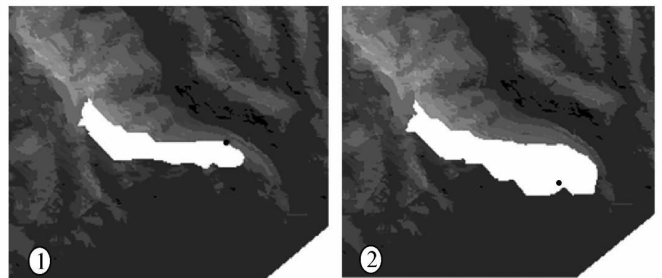
### 3.3 不同坡向的模拟结果分析

在火环境基本相同的情况下, 火点位置对林火蔓延也有较大作用。在蔓延模拟中, 对起火点位置除了采用默认值外, 还可以自己设置起火点。由图 5 可见, 当把起火点 ( $456\ 727 \text{ m}$ ,  $3\ 111\ 970 \text{ m}$ ) 设在山的北坡位置, 在初始蔓延速度为  $1.28 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , 风速为  $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 蔓延时间为 50 min 条件下, 火场面积为  $2.38 \text{ hm}^2$ ; 而在相同条件下, 起火点位于山南坡, 则蔓延面积为  $4.28 \text{ hm}^2$ 。这说明火灾发生后, 南坡的蔓延速度比北坡的快。这是因为南坡接受的阳光时间长, 温度高, 湿度低, 土壤和植被较干燥, 容易发生火灾, 而且火灾发生后蔓延较快。

## 4 结论与讨论

经多次模拟发现, 在地形条件一定的情况下, 林火的初始蔓延速度和风速的大小对林火蔓延有明显的影响, 不同的初始蔓延速度会导致不同的蔓延结果, 随着初始速度的增大, 蔓延面积也相应的增加; 不同的风速形成的火场面积不同, 随着风速的增大, 蔓延面积也相应增加, 但火场的形状相似; 坡向不同, 接受阳光的照射不同, 温度、湿度、土壤和植被都有差异, 一般南坡比北坡更容易燃烧且蔓延速度快; 不同的坡位会导致林地内水分含量不同, 进而也会影响林火的蔓延速度。

林火管理的生产实践中, 用简单的数学模型近似地描述复杂的林火蔓延过程, 要做到精确地预测是比较困难的<sup>[4,9]</sup>。但是随着现代计算机业的兴起, 对可燃物复杂状况的分析及对火场小气候的深入研究, 越来越高的计算精度逐渐可由计算机程序控制。在林火的蔓延过程中, 把地形条件、植被状况、气象条件等对火行为有直接影响的因素当作参数, 通过高效的数据用例计算、程式的负载均衡和完善的配置结构, 从而提高模拟的精度和效率。随着现代信息技术的发展, 特别是 3S 技术的飞速发展, 给森林防火研究带来新的思路。这些技术不仅可以提高模型的精度, 而且可以开发出森林火灾管理信息系统, 能够有效提高森林防火工作效率和应急指挥能力。



白色区域为火场, 黑色圆点为起火点

图 5 起火点不同坡向条件下蔓延 50 min 的火场图

① 北坡; ② 南坡

Figure 5 Sketch maps of fire spreading for 50 minutes with the fire point on north aspect or south aspect

① north aspect, ② south aspect

## 参考文献:

- [1] 武乐清. 林火蔓延模型及其动态模拟初探[J]. 林业资源管理, 2003(5): 69-71.
- [2] 徐爱俊, 李清泉, 方陆明, 等. 基于GIS的森林火灾预报预测模型的研究与探讨[J]. 浙江林学院学报, 2003, 20(3): 285-288.
- [3] 单延龙, 金森, 李长江. 国内外林火蔓延模型简介[J]. 森林防火, 2004(4): 18-21.
- [4] 黄华国. 基于3D元胞自动机模型的林火蔓延模拟研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2004.
- [5] 胡志东. 森林防火[M]. 北京: 中国林业出版社, 2003: 41.
- [6] 毛贤敏. 风和地形对林火蔓延速度的作用[J]. 应用气象学报, 1993, 4(1): 100-104.
- [7] 姚树人, 文定元. 森林消防管理学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 47.
- [8] 唐晓燕. 林火动态规律的研究及其信息系统的研建[D]. 北京: 北京林业大学, 2002.
- [9] 唐晓燕, 孟宪宇, 葛宏立, 等. 基于栅格结构的林火蔓延模拟研究及其实现[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(1): 53-57.
- [10] 黄作维. 基于GIS和RS的林火行为预测研究[D]. 长沙: 中南林学院, 2004.
- [11] 朱霁平, 王海晖, 王清安, 等. 一种确定地表火蔓延边界的新方法[J]. 火灾科学, 1995, 4(2): 10-16.
- [12] 朱启疆, 高峰, 张振威. GIS支持下森林火场蔓延的空间模拟[J]. 环境遥感, 1995, 10(2): 81-88.

## Realization of a simulation model for forest fire spread

SONG Li-yan<sup>1</sup>, ZHOU Guo-mo<sup>1</sup>, TANG Meng-ping<sup>1</sup>, YU Shu-quan<sup>2</sup>, ZHENG Wen-da<sup>3</sup>, LIU Xue-song<sup>4</sup>

(1. School of Environmental Sciences and Technology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Forest Enterprise of Lin'an City, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 4. Forest Enterprise of Jiande City, Jiande 311600, Zhejiang, China)

**Abstract:** For decision making when fighting forest fires, it is important to quantitatively describe the behavior of a forest fire. Therefore, the purpose of this study was to achieve a dynamic simulation model for the spread of forest fires. Using GIS software, the space background of a simulation for forest fire spread was established and the initial data were originated. The fire spread model contained factors, such as terrain, weather, types of combustible materials, and point to point mode of transmission, while using Visual Basic 6.0. Results indicated that with a given terrain, varying the initial spread rate could cause different spread patterns; also the area consumed by the fire increased with an increasing initial velocity. Different wind speeds resulted in dissimilar sizes for a fire scene. The size of a fire scene increased with wind speed, but the shapes of the scene were similar. The highly effective sample computations, balanced formula load, and perfect disposition increased simulation precision and efficiency. [Ch, 5 fig, 12 ref.]

**Key words:** forest protection; forest fire; forest fire spread model; simulation