



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116415754 A

(43) 申请公布日 2023. 07. 11

(21) 申请号 202310424042.7

(22) 申请日 2023.04.19

(71) 申请人 华东理工大学

地址 200237 上海市徐汇区梅陇路130号

(72) 发明人 严怀成 黄志豪 龙正 潘亚宁

陈成成 饶凯 党青梅 张皓

王曰英 常雨芳 陈超洋 王洪荣

徐龙

(74) 专利代理机构 合肥市浩智运专利代理事务

所(普通合伙) 34124

专利代理师 丁瑞瑞

(51) Int. Cl.

G06Q 10/063 (2023.01)

G06Q 50/26 (2012.01)

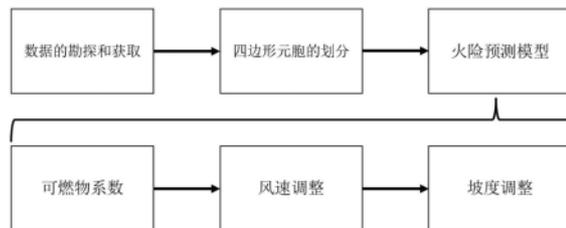
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54) 发明名称

一种森林火灾火势蔓延预测方法及系统

(57) 摘要

本发明公开了一种森林火灾火势蔓延预测方法及系统,所述方法包括:获取林地地图、林地地形和气象数据信息;根据林地地图将待预测林地划分成若干个等面积的元胞,并按元胞为单位将获取的信息汇总;考虑元胞所在区域的实体不可燃性对元胞状态直接进行赋值,对于元胞所在区域存在可燃性实体的情况,基于元胞已经燃烧的面积与整个元胞的面积比值获取元胞状态,考虑气温、相对湿度、风速、风向以及当前元胞状态,构建预测下一时刻元胞状态的森林火灾蔓延模型;将获取的信息输入森林火灾蔓延模型进行火灾蔓延预测;本发明的优点在于:提高火灾蔓延预测的准确性。



1. 一种森林火灾火势蔓延预测方法,其特征在於,所述方法包括:

步骤a:获取林地地图、林地地形和气象数据信息;

步骤b:根据林地地图将待预测林地划分成若干个等面积的元胞,并按元胞为单位将步骤a获取的信息汇总;

步骤c:考虑元胞所在区域的实体不可燃性对元胞状态直接进行赋值,对于元胞所在区域存在可燃性实体的情况,基于元胞已经燃烧的面积与整个元胞的面积比值获取元胞状态,考虑气温、相对湿度、风速、风向以及当前元胞状态,构建预测下一时刻元胞状态的森林火灾蔓延模型;

步骤d:将步骤b获取的信息输入森林火灾蔓延模型进行火灾蔓延预测。

2. 根据权利要求1所述的一种森林火灾火势蔓延预测方法,其特征在於,所述步骤a包括:

获取林地地图,基于气象数据平台和林地地图,获取待预测林地的气温、相对湿度、植被或可燃物信息、风速、风向、海拔高度,存放在GIS数据文件中,并且将GIS数据文件中上述各参数转换为统一的数据格式。

3. 根据权利要求2所述的一种森林火灾火势蔓延预测方法,其特征在於,对于所述气温、相对湿度、风速、风向及海拔高度数据,元胞内有多个数据点的,取距离元胞中心点最近的数据点的数据赋值给元胞;元胞内只有一个数据点的,将其赋值给元胞;元胞内没有数据点的,选择该元胞邻域中的元胞数据的算术平均值给该元胞赋值,对于上述元胞邻域存在数据缺失的,递归地用上述方法将其赋值。

4. 根据权利要求1所述的一种森林火灾火势蔓延预测方法,其特征在於,所述步骤b包括:

根据林地地图将待预测林地按 $10 \times 10$ 为单位元胞划分成若干个等面积的正方形的元胞,经上述方式划分以后,对于待预测林地的边界区域,面积大于等于 $50\text{m}^2$ 的,划分为一个元胞,面积小于 $50\text{m}^2$ 的,舍去。

5. 根据权利要求1所述的一种森林火灾火势蔓延预测方法,其特征在於,所述步骤c包括:

森林火灾蔓延过程中,元胞 $(i, j)$ 在 $t$ 时刻的状态定义为:

$$A_{i,j}^t = \frac{\text{元胞}(i,j)\text{已经燃烧的面积}}{\text{整个元胞}(i,j)\text{的面积}};$$

通过公式

$$A_{i,j}^{t+1} = A_{i,j}^t + 0.83(R_{i-1,j}^t + R_{i+1,j}^t + R_{i,j-1}^t + R_{i,j+1}^t) \frac{\Delta t}{a} \\ + 0.17(R_{i-1,j-1}^t + R_{i-1,j+1}^t + R_{i+1,j-1}^t + R_{i+1,j+1}^t) \frac{\Delta t}{\sqrt{2}a}$$

构建森林火灾蔓延模型;

其中, $A_{i,j}^{t+1}$ 为元胞 $(i, j)$ 在 $t+1$ 时刻的状态, $\Delta t$ 为采样间隔, $a$ 为元胞边长, $R$ 为当时当地的火势蔓延速度,且 $R=R_0 \cdot K_s \cdot K_r \cdot K_f$ , $R_0$ 为火势初始蔓延速度, $K_s$ 为可燃物配置格局的调整系数, $K_r$ 为风速调整系数, $K_f$ 为地形坡度调整系数, $R_{i+1,j}^t$ 为 $t+1$ 时刻元胞 $(i+1, j)$ 的火势蔓延速度。

6. 根据权利要求5所述的一种森林火灾火势蔓延预测方法,其特征在於,对于元胞(i, j)在t时刻的状态,如果元胞(i, j)所在区域的实体不可燃,  $A_{i,j}^t$  的值赋为-1;如果元胞(i, j)所在区域的实体可燃,  $A_{i,j}^t$  的取值范围为  $0 \leq A_{i,j}^t \leq 1$ ,  $0 < A_{i,j}^t < 1$  表示元胞(i, j)处于燃烧状态;如果元胞(i, j)所在区域的实体尚未燃烧,  $A_{i,j}^t$  的值赋为0,如果元胞(i, j)所在区域的实体全部燃烧,  $A_{i,j}^t$  的值赋为1。

7. 根据权利要求5所述的一种森林火灾火势蔓延预测方法,其特征在於,所述火势初始蔓延速度  $R_0$  取決于可燃物的含水量,而含水量直接受控于每日的气温、风力和相对湿度。

8. 一种森林火灾火势蔓延预测系统,其特征在於,所述系统包括:

数据获取模块,用于获取林地地图、林地地形和气象数据信息;

元胞划分模块,用于根据林地地图将待预测林地划分成若干个等面积的元胞,并按元胞为单位将数据获取模块获取的信息汇总;

模型构建模块,用于考虑元胞所在区域的实体不可燃性对元胞状态直接进行赋值,对于元胞所在区域存在可燃性实体的情况,基于元胞已经燃烧的面积与整个元胞的面积的比例获取元胞状态,考虑气温、相对湿度、风速、风向以及当前元胞状态,构建预测下一时刻元胞状态的森林火灾蔓延模型;

火灾蔓延预测模块,用于将元胞划分模块获取的信息输入森林火灾蔓延模型进行火灾蔓延预测。

9. 根据权利要求8所述的一种森林火灾火势蔓延预测系统,其特征在於,所述数据获取模块还用于:

获取林地地图,基于气象数据平台和林地地图,获取待预测林地的气温、相对湿度、植被或可燃物信息、风速、风向、海拔高度,存放在GIS数据文件中,并且将GIS数据文件中上述各参数转换为统一的数据格式。

10. 根据权利要求9所述的一种森林火灾火势蔓延预测系统,其特征在於,对于所述气温、相对湿度、风速、风向及海拔高度数据,元胞内有多个数据点的,取距离元胞中心点最近的数据点的数据赋值给元胞;元胞内只有一个数据点的,将其赋值给元胞;元胞内没有数据点的,选择该元胞邻域中的元胞数据的算术平均值给该元胞赋值,对于上述元胞邻域存在数据缺失的,递归地用上述方法将其赋值。

## 一种森林火灾火势蔓延预测方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及火灾预测领域,更具体涉及一种森林火灾火势蔓延预测方法及系统。

### 背景技术

[0002] 森林火灾是一种严重的自然灾害,不仅会造成森林资源的损失,还会威胁人类生命财产安全和生态环境平衡。因此,及时发现和扑救森林火灾是一项重要的任务。然而,由于森林地形复杂多变,气象条件不稳定,以及人为干扰等因素,传统的森林火灾监测和防治方法存在很多局限性和挑战。例如,地面观测站和卫星遥感技术难以覆盖广阔的森林区域,并且受到云层、雨雪、烟尘等影响;人工巡查和消防队员则需要耗费大量的时间、精力和资源,并且面临着高风险和低效率的问题。为了解决这些问题,无人机(UAV)作为一种新型的空中平台,在森林火灾监测和防治方面显示出了巨大的潜力和优势。无人机具有高空视野、快速反应、低成本、易操作等特点,可以搭载多种传感器(如红外相机、可见光相机、激光雷达等),实时采集并传输森林中的温度、湿度、烟雾、火焰等数据,并根据数据分析判断是否发生火灾,并预测火势的蔓延趋势和范围。无人机还可以配备水箱和喷头,在接收到指令后对火灾区域进行喷水灭火。通过无人机系统,可以实现对广阔复杂的森林区域进行全方位、高效率、低风险监测和防治。然而,无人机系统在应用于森林火灾监测和防治时也面临着一些技术难题。其中之一就是如何实现无人机在火灾复杂动态环境下进行高效和安全的路径规划。由于风速、风向、湿度、坡度等因素会影响火势蔓延速度与方向,导致预测结果具有不确定性与动态性;同时无人机还要考虑自身能量消耗与续航时间,以及避免与其他无人机或障碍物发生碰撞等约束条件。因此,在保证安全距离和避免碰撞等约束条件下,尽可能覆盖更多受威胁区域,并优先处理重点区域,是一个具有挑战性的问题,准确的预测火灾蔓延趋势,直接关乎无人机路径规划的路线的准确性。

[0003] 通过建立扩散模型来模拟林火蔓延行为,研究林火扩散速度、方向、过火面积等行为特征,可以有效监测和响应林火的发生。早期的林火蔓延模型是以林火燃烧的物理化学过程为基础,后来随着计算机技术、遥感技术和地理信息技术的快速发展,林火蔓延模型开始借助这些技术进入二维甚至多维的空间模拟阶段。目前有三种模型较为流行,分别是经验模型、物理模型以及半物理半经验模型。

[0004] 经验模型是不考虑物理机制,通过对实际数据的收集并进行统计分析建立的模型方程,具有代表性的有CFFDRS模型和McArthur模型。CFFDRS模型是通过收集、整合以及室内模拟实验而建立的,能够较为充分的揭示出火行为以及变化规律。但是由于该模型不考虑林火蔓延的机理以及物理本质变化,所以当使用条件与模型试验条件有出入时,精度就会有所下降。McArthur模型能对森林火灾蔓延速度进行测量以及预报,在此基础上还能对森林火灾的一些火参数及火天气进行准确的预报,但由于该模型的野外点烧实验相对单一,所以不具备空间异质性。

[0005] 物理模型不同于经验模型,其基于能量守恒定律以及热传导所建立的模型,因此更重视对机理的研究。使用广泛的有FIRESTAR模型和ALBINI模型。FIRESTAR模型利用宏观

守恒定律建立模型,认为林火是作用在具有异质性森林可燃物上的化学反应和热辐射流,但没有考虑气体和固体颗粒之间的热力学平衡。Albini模型提出野外燃料中的火蔓延着火温度下的稳定纵向传播速度,将其燃料床体积视为一个均匀连续体,没有考虑颜料颗粒的对流生态化和燃料床延伸的状况。

[0006] 半物理半经验模型是在物理模型和经验模型的基础上,衍生出了两者的结合,在一定的林火行为物理机理的指导下,在野外或者室内进行实验后获取实验数据建立的模型,具有代表性的是王正非模型和Rothermel模型。王正非模型是我国普遍应用的模型,优点是公式简单,应用方便,数据容易收集,但由于实验局限性,该模型只适用于小坡度林火。Rothermel模型通过野外实验和室内实验,并结合能量守恒定律而创建,该模型有11个输入项,且很多输入参数在实际林火迹地中很难收集到,因此应用起来难度较大。

[0007] 综上,现有较为流行的林火蔓延模型在林火蔓延预测方面都有或多或少的应用缺陷,导致难以投入实际应用,因此,除了上述已知的流行的模型,行业内衍生出更多的关于火灾蔓延预测的方法及相关模型。

[0008] 与本发明相关的现有技术一:一种实时森林火灾蔓延仿真方法及系统(申请号202211022678.0)

[0009] 现有技术一的技术方案:

[0010] 该专利申请公开了一种实时森林火灾蔓延仿真方法及系统。该方法通过遥感卫星和地面通讯设备,获取目标森林的相关信息,利用相关信息获得整体火灾蔓延信息,同时设定预测时长,预测在所述预测时长内火灾气候信息的变化和火灾燃料信息的变化,并且根据该变化获得整体火灾蔓延情况,同时对火灾蔓延状况进行实时仿真。

[0011] 现有技术一的缺点:

[0012] 1) 计算火点迁移速度时,未考虑每日的气温、相对湿度等因素;

[0013] 2) 未综合考虑不同方向的风对预测点的不同影响。

[0014] 与本发明相关的现有技术二:一种基于元胞自动机的森林火灾蔓延模拟方法(申请号202210474421.2)

[0015] 现有技术二的技术方案:

[0016] 该专利申请公开了一种基于元胞自动机的森林火灾蔓延模拟方法,该方法将模拟区域划分为规则的格网空间,每个格网单元作为一个元胞,计算邻域元胞对中心元胞的蔓延速度,将元胞的燃烧状态划分为未燃、初燃,全燃并能够点燃周围元胞、渐灭和全灭,基于元胞自动机计算下一时刻元胞的燃烧状态,实现元胞的燃烧状态更新。

[0017] 现有技术二的缺点:

[0018] 1) 元胞状态的计算公式中采用了统一的时间步长,未考虑可燃物引燃时间和持续燃烧时间的实际差异;

[0019] 2) 初始林火蔓延速度的公式没有考虑气温、风力和相对湿度等影响,仍待优化;

[0020] 3) 元胞状态公式未考虑部分障碍物的不可燃性。

[0021] 综上,现有技术均未充分考虑不同因素对火势蔓延预测结果的影响,导致火势预测结果不够准确的问题。

## 发明内容

[0022] 本发明所要解决的技术问题在于现有技术火势蔓延预测方法预测结果不够准确的问题。

[0023] 本发明通过以下技术手段实现解决上述技术问题的：一种森林火灾火势蔓延预测方法，所述方法包括：

[0024] 步骤a：获取林地地图、林地地形和气象数据信息；

[0025] 步骤b：根据林地地图将待预测林地划分成若干个等面积的元胞，并按元胞为单位将步骤a获取的信息汇总；

[0026] 步骤c：考虑元胞所在区域的实体不可燃性对元胞状态直接进行赋值，对于元胞所在区域存在可燃性实体的情况，基于元胞已经燃烧的面积与整个元胞的面积比值获取元胞状态，考虑气温、相对湿度、风速、风向以及当前元胞状态，构建预测下一时刻元胞状态的森林火灾蔓延模型；

[0027] 步骤d：将步骤b获取的信息输入森林火灾蔓延模型进行火灾蔓延预测。

[0028] 有益效果：本发明元胞状态的计算并非采用统一的时间步长，而是基于元胞已经燃烧的面积与整个元胞的面积比值获取元胞状态，从而对元胞状态的描述更加准确，考虑部分障碍物的不可燃性，对元胞状态直接进行赋值，避免对于不可燃的元胞持续参与计算，避免影响计算效率并且避免影响后续无人机路径规划的准确性，并且考虑气温、相对湿度、风速、风向等对火势蔓延预测结果的影响，基于当前元胞状态，构建预测下一时刻元胞状态的森林火灾蔓延模型，综合考虑多种影响因素，提高预测结果的准确性。

[0029] 进一步地，所述步骤a包括：

[0030] 获取林地地图，基于气象数据平台和林地地图，获取待预测林地的气温、相对湿度、植被或可燃物信息、风速、风向、海拔高度，存放在GIS数据文件中，并且将GIS数据文件中上述各参数转换为统一的数据格式。

[0031] 更进一步地，对于所述气温、相对湿度、风速、风向及海拔高度数据，元胞内有多个数据点的，取距离元胞中心点最近的数据点的数据赋值给元胞；元胞内只有一个数据点的，将其赋值给元胞；元胞内没有数据点的，选择该元胞邻域中的元胞数据的算术平均值给该元胞赋值，对于上述元胞邻域存在数据缺失的，递归地用上述方法将其赋值。

[0032] 进一步地，所述步骤b包括：

[0033] 根据林地地图将待预测林地按 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 为单位元胞划分成若干个等面积的正方形的元胞，经上述方式划分以后，对于待预测林地的边界区域，面积大于等于 $50\text{m}^2$ 的，划分为一个元胞，面积小于 $50\text{m}^2$ 的，舍去。

[0034] 进一步地，所述步骤c包括：

[0035] 森林火灾蔓延过程中，元胞 $(i, j)$ 在 $t$ 时刻的状态定义为：

$$[0036] \quad A_{i,j}^t = \frac{\text{元胞}(i,j)\text{已经燃烧的面积}}{\text{整个元胞}(i,j)\text{的面积}};$$

[0037] 通过公式

$$[0038] \quad A_{i,j}^{t+1} = A_{i,j}^t + 0.83(R_{i-1,j}^t + R_{i+1,j}^t + R_{i,j-1}^t + R_{i,j+1}^t) \frac{\Delta t}{a} \\ + 0.17(R_{i-1,j-1}^t + R_{i-1,j+1}^t + R_{i+1,j-1}^t + R_{i+1,j+1}^t) \frac{\Delta t}{\sqrt{2}a}$$

[0039] 构建森林火灾蔓延模型；

[0040] 其中， $A_{i,j}^{t+1}$ 为元胞(i, j)在t+1时刻的状态， $\Delta t$ 为采样间隔，a为元胞边长，R为当时当地的火势蔓延速度，且 $R=R_0 \cdot K_s \cdot K_r \cdot K_f$ ， $R_0$ 为火势初始蔓延速度， $K_s$ 为可燃物配置格局的调整系数， $K_r$ 为风速调整系数， $K_f$ 为地形坡度调整系数， $R_{i+1,j}^t$ 为t+1时刻元胞(i+1, j)的火势蔓延速度。

[0041] 更进一步地，对于元胞(i, j)在t时刻的状态，如果元胞(i, j)所在区域的实体不可燃， $A_{i,j}^t$ 的值赋为-1；如果元胞(i, j)所在区域的实体可燃， $A_{i,j}^t$ 的取值范围为 $0 \leq A_{i,j}^t \leq 1$ ， $0 < A_{i,j}^t < 1$ 表示元胞(i, j)处于燃烧状态；如果元胞(i, j)所在区域的实体尚未燃烧， $A_{i,j}^t$ 的值赋为0，如果元胞(i, j)所在区域的实体全部燃烧， $A_{i,j}^t$ 的值赋为1。

[0042] 更进一步地，所述火势初始蔓延速度 $R_0$ 取决于可燃物的含水量，而含水量直接受控于每日的气温、风力和相对湿度。

[0043] 本发明还提供一种森林火灾火势蔓延预测系统，所述系统包括：

[0044] 数据获取模块，用于获取林地地图、林地地形和气象数据信息；

[0045] 元胞划分模块，用于根据林地地图将待预测林地划分成若干个等面积的元胞，并按元胞为单位将数据获取模块获取的信息汇总；

[0046] 模型构建模块，用于考虑元胞所在区域的实体不可燃性对元胞状态直接进行赋值，对于元胞所在区域存在可燃性实体的情况，基于元胞已经燃烧的面积与整个元胞的面积的比值获取元胞状态，考虑气温、相对湿度、风速、风向以及当前元胞状态，构建预测下一时刻元胞状态的森林火灾蔓延模型；

[0047] 火灾蔓延预测模块，用于将元胞划分模块获取的信息输入森林火灾蔓延模型进行火灾蔓延预测。

[0048] 进一步地，所述数据获取模块还用于：

[0049] 获取林地地图，基于气象数据平台和林地地图，获取待预测林地的气温、相对湿度、植被或可燃物信息、风速、风向、海拔高度，存放在GIS数据文件中，并且将GIS数据文件中上述各参数转换为统一的数据格式。

[0050] 更进一步地，对于所述气温、相对湿度、风速、风向及海拔高度数据，元胞内有多个数据点的，取距离元胞中心点最近的数据点的数据赋值给元胞；元胞内只有一个数据点的，将其赋值给元胞；元胞内没有数据点的，选择该元胞邻域中的元胞数据的算术平均值给该元胞赋值，对于上述元胞邻域存在数据缺失的，递归地用上述方法将其赋值。

[0051] 进一步地，所述元胞划分模块还用于：

[0052] 根据林地地图将待预测林地按 $10m \times 10m$ 为单位元胞划分成若干个等面积的正方形的元胞，经上述方式划分以后，对于待预测林地的边界区域，面积大于等于 $50m^2$ 的，划分为一个元胞，面积小于 $50m^2$ 的，舍去。

[0053] 进一步地，所述模型构建模块还用于：

[0054] 森林火灾蔓延过程中，元胞(i, j)在t时刻的状态定义为：

$$[0055] \quad A_{i,j}^t = \frac{\text{元胞}(i,j)\text{已经燃烧的面积}}{\text{整个元胞}(i,j)\text{的面积}};$$

[0056] 通过公式

$$\begin{aligned}
 A_{i,j}^{t+1} = & A_{i,j}^t + 0.83(R_{i-1,j}^t + R_{i+1,j}^t + R_{i,j-1}^t + R_{i,j+1}^t) \frac{\Delta t}{a} \\
 & + 0.17(R_{i-1,j-1}^t + R_{i-1,j+1}^t + R_{i+1,j-1}^t + R_{i+1,j+1}^t) \frac{\Delta t}{\sqrt{2}a}
 \end{aligned}$$

[0057] 构建森林火灾蔓延模型；

[0058] 其中， $A_{i,j}^{t+1}$ 为元胞(i, j)在t+1时刻的状态， $\Delta t$ 为采样间隔，a为元胞边长，R为当时当地的火势蔓延速度，且 $R=R_0 \cdot K_s \cdot K_r \cdot K_f$ ， $R_0$ 为火势初始蔓延速度， $K_s$ 为可燃物配置格局的调整系数， $K_r$ 为风速调整系数， $K_f$ 为地形坡度调整系数， $R_{i+1,j}^t$ 为t+1时刻元胞(i+1, j)的火势蔓延速度。

[0059] 更进一步地，对于元胞(i, j)在t时刻的状态，如果元胞(i, j)所在区域的实体不可燃， $A_{i,j}^t$ 的值赋为-1；如果元胞(i, j)所在区域的实体可燃， $A_{i,j}^t$ 的取值范围为 $0 \leq A_{i,j}^t \leq 1$ ， $0 < A_{i,j}^t < 1$ 表示元胞(i, j)处于燃烧状态；如果元胞(i, j)所在区域的实体尚未燃烧， $A_{i,j}^t$ 的值赋为0，如果元胞(i, j)所在区域的实体全部燃烧， $A_{i,j}^t$ 的值赋为1。

[0060] 更进一步地，所述火势初始蔓延速度 $R_0$ 取决于可燃物的含水量，而含水量直接受控于每日的气温、风力和相对湿度。

[0061] 本发明的优点在于：本发明元胞状态的计算并非采用统一的时间步长，而是基于元胞已经燃烧的面积与整个元胞的面积的比值获取元胞状态，从而对元胞状态的描述更加准确，考虑部分障碍物的不可燃性，对元胞状态直接进行赋值，避免对于不可燃的元胞持续参与计算，避免影响计算效率并且避免影响后续无人机路径规划的准确性，并且考虑气温、相对湿度、风速、风向等对火势蔓延预测结果的影响，基于当前元胞状态，构建预测下一时刻元胞状态的森林火灾蔓延模型，综合考虑多种影响因素，提高预测结果的准确性。

## 附图说明

[0062] 图1为本发明实施例1所公开的一种森林火灾火势蔓延预测方法的流程图；

[0063] 图2为本发明实施例1所公开的一种森林火灾火势蔓延预测方法中中心元胞在OA、OB、OC、OD、OE、OF、OG方向的地形坡度调整系数计算示意图；

[0064] 图3为本发明实施例1所公开的一种森林火灾火势蔓延预测方法中时间 $T=150s$ 时，V分别为3、6、9、12、15(单位m/s)， $K_s$ 分别为0.8、1.2、1.6、2.0时的火灾预测情况示意图；

[0065] 图4为本发明实施例1所公开的一种森林火灾火势蔓延预测方法中 $V=8m/s$ ， $K_s=1.2$ ，风向 $45^\circ$ 时，时间T从50s到500s时的火灾预测情况示意图；

[0066] 图5为本发明实施例1所公开的一种森林火灾火势蔓延预测方法中 $V=12m/s$ ， $K_s=1.2$ ，风向 $45^\circ$ 时，时间T从25s到500s时的火灾预测情况示意图。

## 具体实施方式

[0067] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明实施例，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0069] 实施例1

[0070] 如图1所示,一种森林火灾火势蔓延预测方法,所述方法包括:

[0071] 步骤a:获取林地地图、林地地形和气象数据信息;具体过程为:

[0072] 获取林地地图,基于气象数据平台和林地地图,获取待预测林地的气温、相对湿度、植被或可燃物信息、风速、风向、海拔高度等信息存放在GIS数据文件中,由于数据具有多种格式,需要转换为统一的数据格式和空间参考系,使其达到林火蔓延模拟的数据条件,因此将GIS数据文件中上述各参数转换为统一的数据格式。

[0073] 步骤b:根据林地地图将待预测林地划分成若干个等面积的元胞,并按元胞为单位将步骤a获取的信息汇总;具体过程为:

[0074] 根据林地地图将待预测林地按 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 为单位元胞划分成若干个等面积的正方形的元胞,经上述方式划分以后,对于待预测林地的边界区域,面积大于等于 $50\text{m}^2$ 的,划分为一个元胞,面积小于 $50\text{m}^2$ 的,舍去。

[0075] 对于所述气温、相对湿度、风速、风向及海拔高度等数据,元胞内有多个数据点的,取距离元胞中心点最近的数据点的数据赋值给元胞;元胞内只有一个数据点的,将其赋值给元胞;元胞内没有数据点的,选择该元胞邻域中的元胞数据的算术平均值给该元胞赋值,对于上述元胞邻域存在数据缺失的,选择其邻域中的元胞数据的算术平均值给该数据缺失的元胞赋值,递归地用上述方法赋值。

[0076] 步骤c:考虑元胞所在区域的实体不可燃性对元胞状态直接进行赋值,对于元胞所在区域存在可燃性实体的情况,基于元胞已经燃烧的面积与整个元胞的面积比值获取元胞状态,考虑气温、相对湿度、风速、风向以及当前元胞状态,构建预测下一时刻元胞状态的森林火灾蔓延模型;

[0077] 对于森林火灾蔓延模型的设计思路有两种,一种是根据中心燃烧元胞的信息,利用火灾蔓延速度方程(下文公式 $R=R_0 \cdot K_s \cdot K_r \cdot K_f$ )计算出下一时刻邻域元胞的火灾蔓延速度,由此得到所有元胞在该时刻的速度信息,适用于平时的火灾情况模拟和火灾隐患的排查。

[0078] 第二种思路为:利用邻域元胞的速度信息以及中心元胞上一时刻的状态信息,代入元胞状态转换方程(下文森林火灾蔓延模型公式)中,即可预测出中心元胞在该时刻的状态,其他元胞的状态求解方法同理。按照此方法,最终可以预测出任意时刻任意元胞的状态,从而实现火灾蔓延仿真模拟,可以实时地更新和在环境动态变化的基础上预测。以下详细介绍火灾蔓延速度的计算以及利用邻域元胞的速度信息以及中心元胞上一时刻的状态信息构建森林火灾蔓延模型的过程:

[0079] 森林火灾蔓延过程中,元胞 $(i, j)$ 在 $t$ 时刻的状态定义为:

$$[0080] \quad A_{i,j}^t = \frac{\text{元胞}(i,j)\text{已经燃烧的面积}}{\text{整个元胞}(i,j)\text{的面积}};$$

[0081] 对于元胞 $(i, j)$ 在 $t$ 时刻的状态,如果元胞 $(i, j)$ 所在区域的实体不可燃, $A_{i,j}^t$ 的值赋为-1;如果元胞 $(i, j)$ 所在区域的实体可燃, $A_{i,j}^t$ 的取值范围为 $0 \leq A_{i,j}^t \leq 1$ ,  $A_{i,j}^t = 0$ ,表示元胞尚未燃烧, $0 < A_{i,j}^t < 1$ 表示元胞处于燃烧状态, $A_{i,j}^t = 1$ ,表示元胞已经被完全燃烧。

[0082] 元胞处于 $t$ 时刻时,其燃烧状态和邻域元胞向其蔓延的速度 $R_{i,j}^t$ 的决定了元胞 $(i,$

j) 在t+1时刻的状态,通过公式

$$A_{i,j}^{t+1} = A_{i,j}^t + 0.83(R_{i-1,j}^t + R_{i+1,j}^t + R_{i,j-1}^t + R_{i,j+1}^t) \frac{\Delta t}{a} + 0.17(R_{i-1,j-1}^t + R_{i-1,j+1}^t + R_{i+1,j-1}^t + R_{i+1,j+1}^t) \frac{\Delta t}{\sqrt{2}a}$$

[0084] 构建森林火灾蔓延模型;

[0085] 其中,  $A_{i,j}^{t+1}$  为元胞 (i, j) 在 t+1 时刻的状态,  $\Delta t$  为采样间隔, a 为元胞边长, R 为当时的火势蔓延速度, 且  $R = R_0 \cdot K_s \cdot K_r \cdot K_f$ ,  $R_0$  为火势初始蔓延速度, 所述火势初始蔓延速度  $R_0$  取决于可燃物的含水量, 而含水量直接受控于每日的气温、风力和相对湿度, 通过室内或室外火烧试验预先分析出可燃物的含水量, 直接将可燃物含水量通过加权量化为火势初始蔓延速度  $R_0$ , 具体加权指标根据实际应用情况调整。  $K_s$  为可燃物配置格局的调整系数,  $K_r$  为风速调整系数,  $K_f$  为地形坡度调整系数,  $R_{i+1,j}^t$  为 t+1 时刻元胞 (i+1, j) 的火势蔓延速度。林火蔓延过程中, 邻域元胞会受到风作用的影响, 利用中心燃烧元胞对邻域元胞方向的分速度, 可以得到风速调整系数与火势蔓延速度之间的函数关系, 而地形坡度调整系数可由几何关系推导出来, 具体可燃物配置格局的调整系数、风速调整系数以及地形坡度调整系数的获取过程在下文详细介绍。

[0086] 地形坡度调整系数  $K_f$  与元胞之间坡度角  $\theta$  有关, 元胞之间的坡度角  $\theta$  可以由海拔差  $\Delta h$  和元胞中心之间距离  $\Delta x$  计算得出, 如果两元胞间方向是互相的正东、正南、正西或者正北中的一种, 则元胞中心间距等于元胞边长 10m; 如果是互相的东北、东南、西北、西南, 则元胞中心间距等于元胞边长的根号 2 倍即  $10\sqrt{2}m$ ; 元胞间坡度角即为  $\theta = \arctan \frac{\Delta h}{\Delta x}$ 。

[0087] 如附图 2 所示, 中心元胞在 OA、OB、OC、OD、OE、OF、OG 方向的地形坡度调整系数  $K_f$  为  $e^{0.1783V\cos(\theta-45^\circ)}$ 、 $e^{0.1783V\cos(\theta-90^\circ)}$ 、 $e^{0.1783V\cos(\theta-135^\circ)}$ 、 $e^{0.1783V\cos(\theta-180^\circ)}$ 、 $e^{0.1783V\cos(225^\circ-\theta)}$ 、 $e^{0.1783V\cos(90^\circ+\theta)}$ 、 $e^{0.1783V\cos(315^\circ-\theta)}$ , 其中, V 表示风速,  $\theta$  根据 OA、OB、OC、OD、OE、OF、OG 等方向的不同, 涉及的元胞不同, 因此求取的角度值不同, 以 OA 方向为例, 其涉及元胞 (i, j) 以及元胞 (i-1, j-1), 因此计算中心元胞在 OA 方向的地形坡度调整系数  $K_f$  时,  $\theta$  应该是元胞 (i, j) 以及元胞 (i-1, j-1) 的元胞间坡度角, 其他方向同理, 在此不做过多赘述。

[0088] 可燃物配置格局的调整系数  $K_s$  通过下表 1 给定

[0089] 表 1 可燃物配置格局的调整系数

[0090]	可燃类型	平铺松针	枯枝落叶	茅草杂草	莎草矮桦	牧场草原	红松, 云南松等林地
	$K_s$	0.8	1.2	1.6	1.8	2.0	1.0

[0091] 风速调整系数  $K_r$  基于风速通过下表 2 给定

[0092] 表 2 风速调整系数

[0093]	风速 (米/秒)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	$K_r$	1.2	1.4	1.7	2.0	2.4	2.9	3.3	4.1	5.1	6.0	7.3	8.5

[0094] 综上, 任意元胞任意时刻的火势初始蔓延速度、可燃物配置格局的调整系数、风速

调整系数以及地形坡度调整系数已知的情况下就能求出其火势蔓延速度,代入森林火灾蔓延模型即可求出火灾蔓延预测结果,例如, $t+1$ 时刻元胞 $(i+1, j)$ 的火势蔓延速度 $R_{i+1,j}^t$ 通过将 $t+1$ 时刻元胞 $(i+1, j)$ 的火势初始蔓延速度、可燃物配置格局的调整系数、风速调整系数以及地形坡度调整系数代入公式 $R=R_0 \cdot K_s \cdot K_T \cdot K_f$ 即可求解。

[0095] 步骤d:将步骤b获取的信息输入森林火灾蔓延模型进行火灾蔓延预测。

[0096] 气象、地形和可燃物特性等影响因素共同决定了林火蔓延扩散,数据具有多样性,为了更加准确地模拟林火蔓延态势,需要利用不同林火蔓延模型进行模拟对比,并进行空间精度评价,目前主要有比较蔓延速率、周长、火场面积等指标来评价火行为模拟精度,由于缺少林火蔓延速率的详细数据,本发明仅在火场面积方面进行比较。选用以下精度评价指标,其表达式为:

$$[0097] \quad \varepsilon = \frac{S_p}{S_R} \times 100\%$$

[0098] 上式中, $s_p$ 为该系统模拟面积与实际过火面积不重合区域的面积; $s_R$ 为实际过火面积; $\varepsilon$ 为系统模拟面积与实际过火面积不重合区域的面积与实际过火面积的比率。该比率越小说明火灾蔓延预测精度越高,通过这种方式能够验证本发明提出的方案的有效性以及预测精度。如图3-图5所示,给出了几种不同情况下火灾预测情况仿真模拟结果,通过该仿真模拟可以看出,本发明提出的方案能够有效预测火灾蔓延情况,其中位于矩形区域中间的不规则区域为火灾蔓延区域。

[0099] 通过以上技术方案,本发明元胞状态的计算并非采用统一的时间步长,而是基于元胞已经燃烧的面积与整个元胞的面积比值获取元胞状态,从而对元胞状态的描述更加准确,考虑部分障碍物的不可燃性,对元胞状态直接进行赋值,避免对于不可燃的元胞持续参与计算,避免影响计算效率并且避免影响后续无人机路径规划的准确性,并且考虑气温、相对湿度、风速、风向等对火势蔓延预测结果的影响,基于当前元胞状态,构建预测下一时刻元胞状态的森林火灾蔓延模型,综合考虑多种影响因素,提高预测结果的准确性。

[0100] 实施例2

[0101] 基于实施例1,本发明实施例2还提供一种森林火灾火势蔓延预测系统,所述系统包括:

[0102] 数据获取模块,用于获取林地地图、林地地形和气象数据信息;

[0103] 元胞划分模块,用于根据林地地图将待预测林地划分成若干个等面积的元胞,并按元胞为单位将数据获取模块获取的信息汇总;

[0104] 模型构建模块,用于考虑元胞所在区域的实体不可燃性对元胞状态直接进行赋值,对于元胞所在区域存在可燃性实体的情况,基于元胞已经燃烧的面积与整个元胞的面积比值获取元胞状态,考虑气温、相对湿度、风速、风向以及当前元胞状态,构建预测下一时刻元胞状态的森林火灾蔓延模型;

[0105] 火灾蔓延预测模块,用于将元胞划分模块获取的信息输入森林火灾蔓延模型进行火灾蔓延预测。

[0106] 具体的,所述数据获取模块还用于:

[0107] 获取林地地图,基于气象数据平台和林地地图,获取待预测林地的气温、相对湿度、植被或可燃物信息、风速、风向、海拔高度,存放在GIS数据文件中,并且将GIS数据文件

中上述各参数转换为统一的数据格式。

[0108] 更具体的,对于所述气温、相对湿度、风速、风向及海拔高度数据,元胞内有多个数据点的,取距离元胞中心点最近的数据点的数据赋值给元胞;元胞内只有一个数据点的,将其赋值给元胞;元胞内没有数据点的,选择该元胞邻域中的元胞数据的算术平均值给该元胞赋值,对于上述元胞邻域存在数据缺失的,递归地用上述方法将其赋值。

[0109] 具体的,所述元胞划分模块还用于:

[0110] 根据林地地图将待预测林地按 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 为单位元胞划分成若干个等面积的正方形的元胞,经上述方式划分以后,对于待预测林地的边界区域,面积大于等于 $50\text{m}^2$ 的,划分为一个元胞,面积小于 $50\text{m}^2$ 的,舍去。

[0111] 具体的,所述模型构建模块还用于:

[0112] 森林火灾蔓延过程中,元胞 $(i, j)$ 在 $t$ 时刻的状态定义为:

$$[0113] \quad A_{i,j}^t = \frac{\text{元胞}(i,j)\text{已经燃烧的面积}}{\text{整个元胞}(i,j)\text{的面积}};$$

[0114] 通过公式

$$[0115] \quad A_{i,j}^{t+1} = A_{i,j}^t + 0.83(R_{i-1,j}^t + R_{i+1,j}^t + R_{i,j-1}^t + R_{i,j+1}^t) \frac{\Delta t}{a} \\ + 0.17(R_{i-1,j-1}^t + R_{i-1,j+1}^t + R_{i+1,j-1}^t + R_{i+1,j+1}^t) \frac{\Delta t}{\sqrt{2}a}$$

[0116] 构建森林火灾蔓延模型;

[0117] 其中, $A_{i,j}^{t+1}$ 为元胞 $(i, j)$ 在 $t+1$ 时刻的状态, $\Delta t$ 为采样间隔, $a$ 为元胞边长, $R$ 为当时的火势蔓延速度,且 $R=R_0 \cdot K_s \cdot K_r \cdot K_f$ , $R_0$ 为火势初始蔓延速度, $K_s$ 为可燃物配置格局的调整系数, $K_r$ 为风速调整系数, $K_f$ 为地形坡度调整系数, $R_{i+1,j}^t$ 为 $t+1$ 时刻元胞 $(i+1, j)$ 的火势蔓延速度。

[0118] 更具体的,对于元胞 $(i, j)$ 在 $t$ 时刻的状态,如果元胞 $(i, j)$ 所在区域的实体不可燃, $A_{i,j}^t$ 的值赋为-1;如果元胞 $(i, j)$ 所在区域的实体可燃, $A_{i,j}^t$ 的取值范围为 $0 \leq A_{i,j}^t \leq 1$ ,  $0 < A_{i,j}^t < 1$ 表示元胞 $(i, j)$ 处于燃烧状态;如果元胞 $(i, j)$ 所在区域的实体尚未燃烧, $A_{i,j}^t$ 的值赋为0,如果元胞 $(i, j)$ 所在区域的实体全部燃烧, $A_{i,j}^t$ 的值赋为1。

[0119] 更具体的,所述火势初始蔓延速度 $R_0$ 取决于可燃物的含水量,而含水量直接受控于每日的气温、风力和相对湿度。

[0120] 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

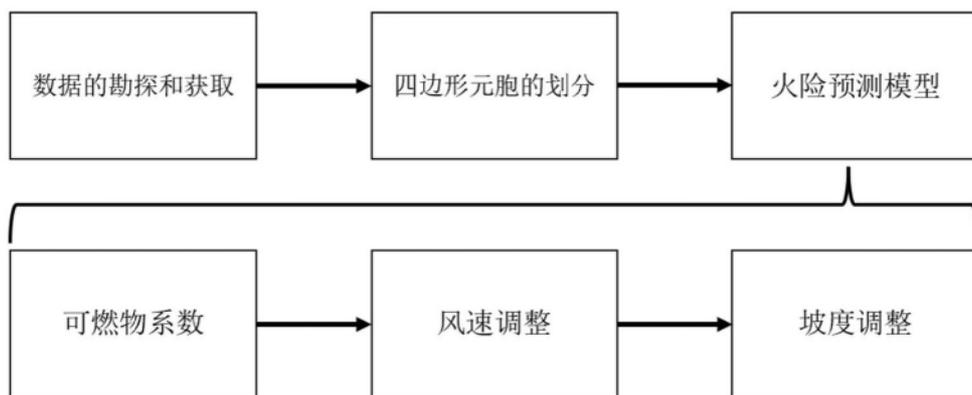


图1

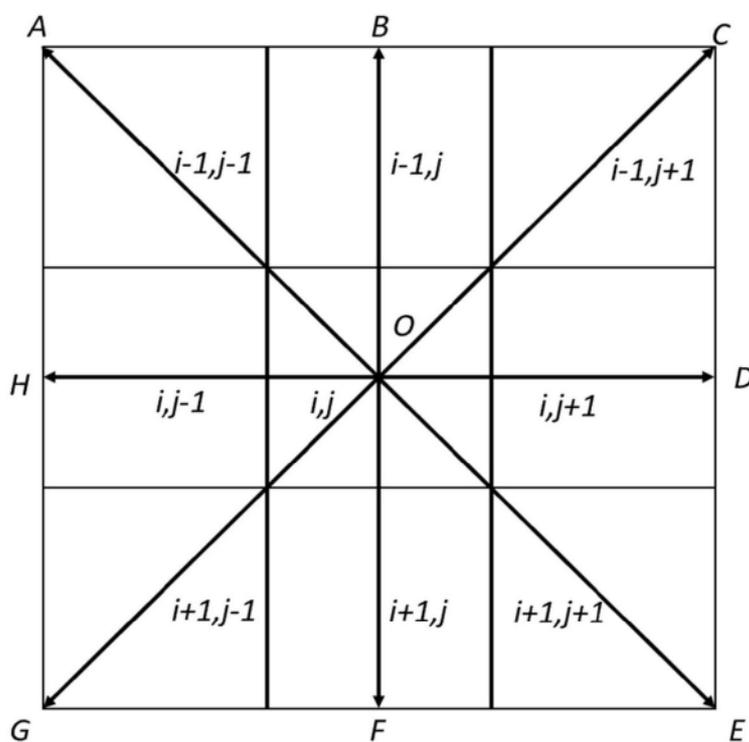


图2

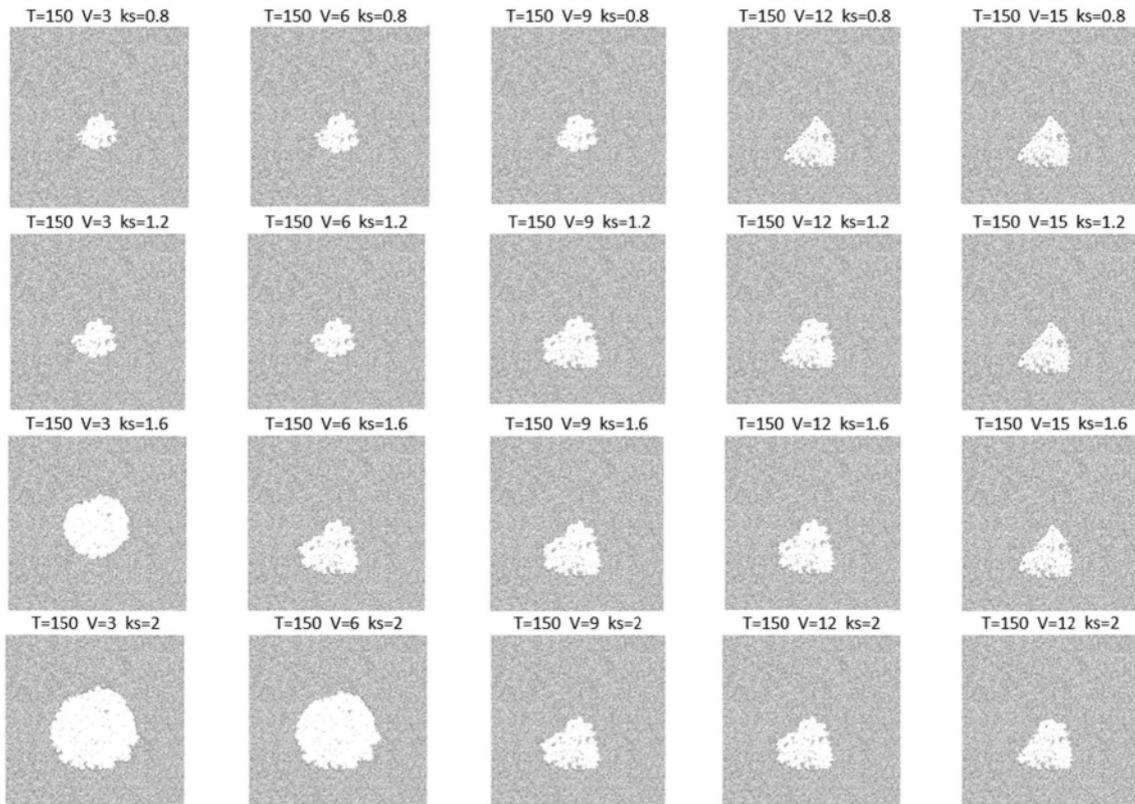


图3

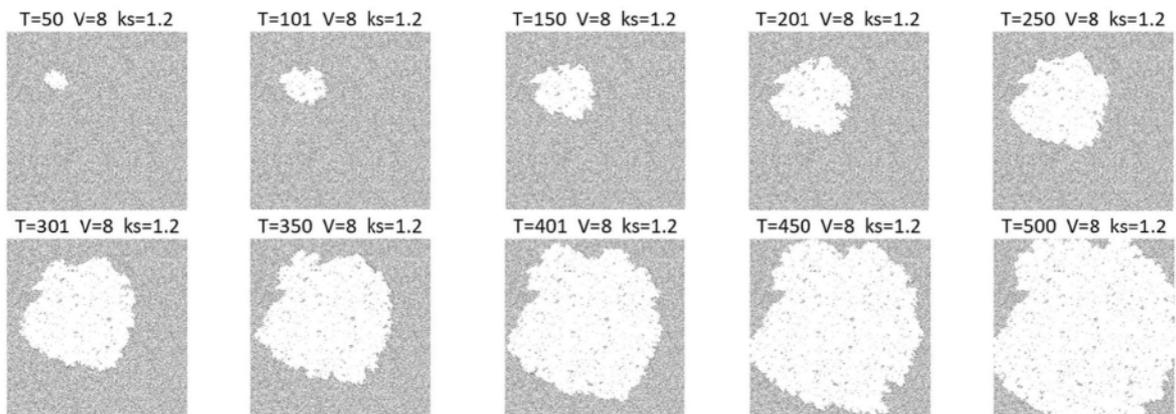


图4

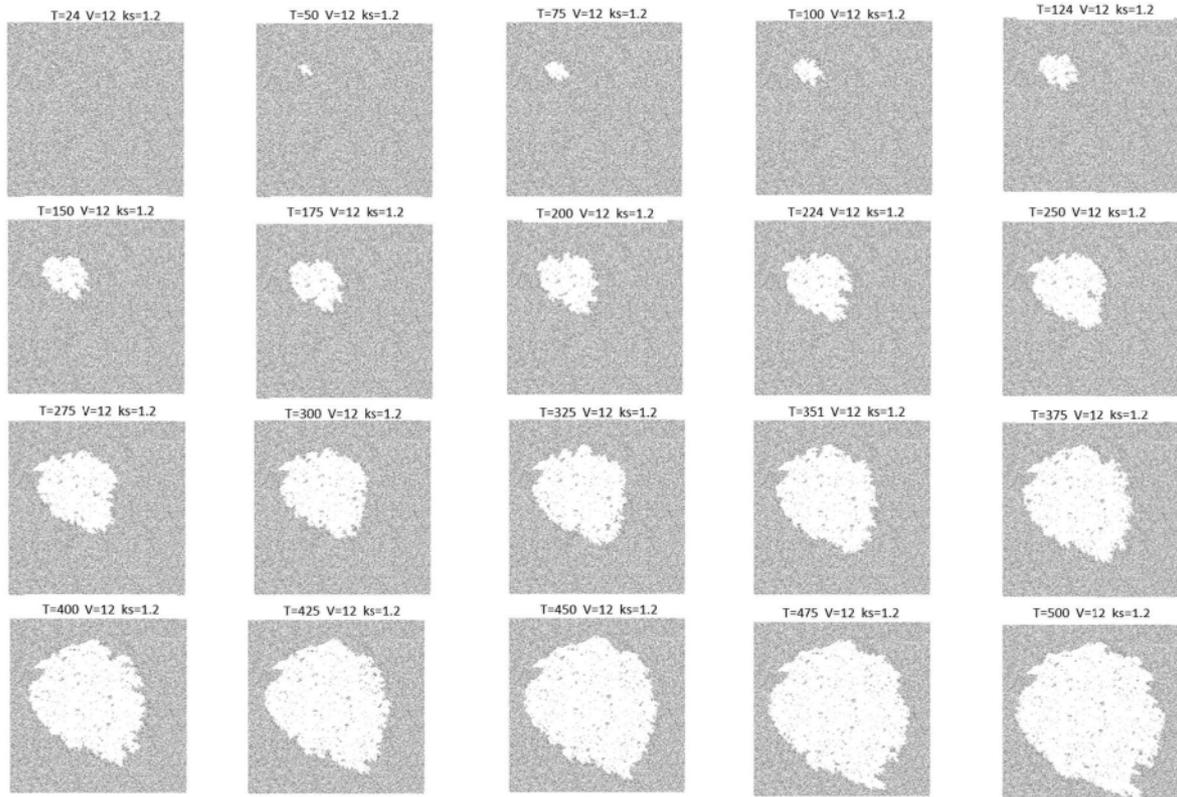


图5