

4-16-2020

Modeling and Simulation of Locating Water Resources for Forest Fire Extinguishing

Guoxiong Zhou

Li Tong

Aibin Chen

Mingfang He

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Modeling and Simulation of Locating Water Resources for Forest Fire Extinguishing

Abstract

Abstract: At the time of the forest fire, the effective water resource position is a good assistance to the firefighters to put out the fire. Taking a state-owned tree-farm, Huangfeng Bridge as an example in You Xian, *an approach is proposed to optimally locate and determine the water resources to extinguish the forest fires, which uses the barycenter of a Weighted Voronoi Diagram and is generated dynamically via Cellular Automata and locally optimized by Alternative Location and Allocation algorithm.* In order to reduce the low ratio impact of the water resource to the high fire risk areas, a barycenter model of Weighted Voronoi Diagram is adopted. In order to ensure each Voronoi area having the sufficient available water resources and the rational sites density, the Alternative Location and Allocation algorithm is adopted to optimize the model. Simulation results show that the method can significantly improve the efficiency of forest fire fighting.

Keywords

forest fire extinguish, locate water resources, cellular automaton, weighted voronoi diagram, alternative location and allocation

Recommended Citation

Zhou Guoxiong, Li Tong, Chen Aibin, He Mingfang. Modeling and Simulation of Locating Water Resources for Forest Fire Extinguishing[J]. Journal of System Simulation, 2020, 32(4): 660-668.

森林灭火水源选址的建模与仿真

周国雄¹, 李彤^{2*}, 陈爱斌³, 何明芳⁴

(中南林业科技大学 计算机与信息工程学院, 湖南 长沙 410004)

摘要: 森林火灾发生时, 有效的水源地对消防员灭火有着良好的辅助作用。以攸县黄丰桥国有林场为例, 提出一种基于元胞自动机动态生成加权 Voronoi 图的重心模型和交替定位分配算法局部优化的森林灭火水源选址规划方案。为减小水源覆盖高火险区域比例不达标的影响, 建立加权 Voronoi 图的重心模型。为保证各 Voronoi 区域有充足的可用水资源, 确保选址密度的合理性, 采用交替定位分配算法对上述模型进行局部优化。仿真结果表明, 所提方法能显著提高森林灭火工作效率。

关键词: 森林灭火; 水源选址; 元胞自动机; 加权 Voronoi 图; 交替定位分配算法

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X(2020)04-0660-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.18-0293

Modeling and Simulation of Locating Water Resources for Forest Fire Extinguishing

Zhou Guoxiong¹, Li Tong^{2*}, Chen Aibin³, He Mingfang⁴

(School of Computer and Information Engineering, Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: At the time of the forest fire, the effective water resource position is a good assistance to the firefighters to put out the fire. Taking a state-owned tree-farm, Huangfeng Bridge as an example in You Xian, an approach is proposed to optimally locate and determine the water resources to extinguish the forest fires, which uses the barycenter of a Weighted Voronoi Diagram and is generated dynamically via Cellular Automata and locally optimized by Alternative Location and Allocation algorithm. In order to reduce the low ratio impact of the water resource to the high fire risk areas, a barycenter model of Weighted Voronoi Diagram is adopted. In order to ensure each Voronoi area having the sufficient available water resources and the rational sites density, the Alternative Location and Allocation algorithm is adopted to optimize the model. Simulation results show that the method can significantly improve the efficiency of forest fire fighting.

Keywords: forest fire extinguish; locate water resources; cellular automaton; weighted voronoi diagram; alternative location and allocation

引言

森林火灾是陆地植物出现后不久就发生在地

质记录中的一种世界性现象, 过去的几年里, 大规模的、植被丰富的大陆森林火灾发生率激增, 而不管火势大小如何, 都需要一定的消防能力或管理策略^[1]。大型火灾的普遍存在, 也使人们对消防的火控能力产生了疑问, 并暴露出了我们对火灾原因、影响的有限认识^[2-3]。因此, 减少森林火灾带来的危害是森林研究人员的共同目标, 目前大多研究都是关于森林火灾探测的方法。例如, 文献[4]提出



收稿日期: 2018-05-16 修回日期: 2018-08-26;
基金项目: 国家“948”项目(2014-4-09), 国家自然科学基金(61703441);

作者简介: 周国雄(1980-), 男, 湖南嘉禾, 博士后, 副教授, 研究方向为智能控制、无损检测; 李彤(通讯作者 1997-), 女, 江西萍乡, 本科, 研究方向为智能控制。

<http://www.china-simulation.com>

了森林防火火灾监测系统, 文献[5]提出了一种基于簇的无线传感器网络方式^[5], 用于森林火灾实时检测。Mohammadi F 用 Logistic 回归分析森林火灾风险, 并确定了森林火灾发生的最有影响的因素^[6]。然而关于森林灭火水源选址的研究却比较少, 文献[7]提出了基于 DEA 算法的森林水源选址优化模型。该方法主要用于森林灭火水源选址, 然而其选址结果的精确性不高, 还有待考究。且算法过于单一, 没有根据森林不同区域的火险等级差异充分考虑水覆盖森林面积是否均匀合理等, 对森林灭火水源选址具有一定局限性。

在上述模型的基础上, 本文以攸县黄丰桥国有林场为例, 提出了适合我国森林水源地的方法。该方案是基于元胞自动机动态生成加权 Voronoi 图的重心模型和交替定位分配算法提出的。为达到在最短的时间内汇集最大水量以最快速度灭火的目的, 减少森林火灾对人类与大自然造成的影响, 在最大程度上保护森林资源, 维护林区社会安定, 保障人民生命财产安全和生态环境。

1 选址规划的总体思想

攸县黄丰桥国有林场, 其地理位置是在中国湖南省东南部的罗霄山脉中段, 属亚热带气候, 土壤和植被地带分布明显, 它有一个非常重要的水源涵养和水土保持的技能, 在我国森林中的综合实力非常强。据统计, 森林火灾时常发生在我们周围, 并且, 森林火灾大多数是由人类活动引起的。在灭火的时候, 由于森林地理位置的特殊性, 一些蓄水池与道路相距甚远, 大大削减了消防队员在森林消防中的作用。为减少森林火灾造成的损失, 建设实际可行的工程来辅助消防员更好的灭火, 确定水源的位置是十分重要的。为此, 本文提出一种由元胞自动机动态生成加权 Voronoi 图的重心模型和交替定位分配算法局部优化的森林灭火水资源选址规划方案。

该方案总体思想如下: 以湖南省攸县黄丰桥国有林场为例, 根据中国的地域特点, 提出森林灭火水资源选址规划问题的定位模型。该模型将由元胞自动

机动态生成加权 Voronoi 图的重心模型与交替定位分配算法相结合, 找出森林灭火水资源选址的最优解。首先, 对 Voronoi 图及其加权形式进行介绍, 根据攸县黄丰桥森林的特点, 利用元胞自动机动态生成加权 Voronoi 图, 建立受多综合因素影响的加权 Voronoi 图模型。生成权重时, 根据地形、交通等的约束, 对加权 Voronoi 图的权值进行动态调整, 有效划分水源地址的作用范围, 从而节省计算时间、减少迭代次数。在此基础上, 考虑到灭火工作中水的重要性和不可或缺性, 采取找到加权 Voronoi 图的重心的方法, 使得水辐射森林面积更加均匀合理。最后, 采用交替定位分配算法对上述划分区域后的 Voronoi 分区进行局部优化, 减小加权 Voronoi 生成元的位置与重心位置的偏差, 保证各区域均具有充足的可用水资源, 确保选址密度的高度合理性。

2 元胞自动机生成的加权 Voronoi 图

Voronoi 是计算几何中的基本数据结构之一, 它在与几何信息相关的许多领域应用十分广泛。它还可用于灾害和应急管理中的地理信息处理, 在许多情况下, 每一点都有不同的影响因素, 如大小、力量、速度和重量。这可以由加权 Voronoi 图建模, 但是每个点的权重是固定的, 传统的加权形式不能准确反映属性和地理因素对分区的影响^[8]。

在本文中, 考虑到可能的因素, 每一个待选水源地对不同指标可能有不同权重, 所以我们采用由不同权值加权的 Voronoi 图划分每个待选水源的影响范围。并采用元胞自动机动态生成加权 Voronoi 图, 减少迭代次数、节省计算时间。并为进一步优化水覆盖森林起火区域均匀合理这一项指标, 提出找到加权 Voronoi 图的重心的方法, 建立由元胞自动机动态生成加权 Voronoi 图的重心模型。

2.1 加权 Voronoi 图

加权 Voronoi 图是普通 Voronoi 图的一种最常见的改进形式。根据加权 Voronoi 图的特点, 可以

利用它来赋予森林区域建设费用和林区附近交通状况等不同指标以不同权重进而合理划分森林区域, 本文以演化步的步数来计算演化生成加权 Voronoi 图的时间, 如图 1 所示。曲线下方的面积即为蓄水池的扩张距离, 演化步定义为: 各元胞扩张不超过一个元胞距离且至少有一个发生元占有一个新元胞的过程^[9]。

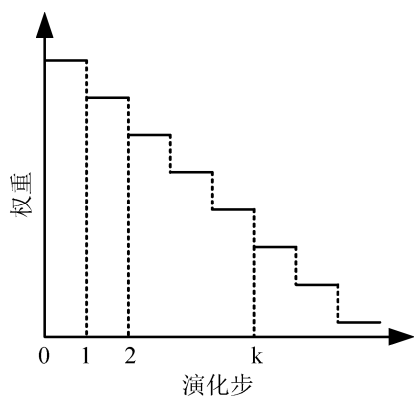


图 1 权重曲线图

Fig. 1 Figure of weight curve

演化步随着周围环境的变化而变化, 受到保护的原始权重更适用于实际中的情况。那么, 如何生成它就显得尤为重要了, 将在下文介绍一种生成加权 Voronoi 图的方法。

2.2 元胞自动机生成加权 Voronoi 图

使用元胞自动机动态生成加权 Voronoi 图。权重在生成过程中是动态变化的, 元胞自动机将采用相应的局部规则, 有效控制其每一步演化^[9]。为了使生成的加权 Voronoi 图更符合实际情况, 采用下述的元胞自动机模型。

将所有构成整个森林区域的栅格视为单个元胞空间, 水源是加权 Voronoi 图中的黑点, 自适应权重被视为扩展速度。根据局部演化规则, 可确定所有细胞的状态, 最后生成自适应加权 Voronoi 图。

采用元胞自动机动态生成加权 Voronoi 图, 此方法可行并考虑到了各项可优化的指标, 通过一步步完善该方法, 能够节省计算时间、减少迭代次数。

其中, 加权 Voronoi 图的演化过程如表 1 所示。

表 1 加权 Voronoi 图演化过程
Tab. 1 Evolution process of weighted voronoi diagram

数据	中心元胞的状态	待选水源处	逐步扩展距离/演化步
中间计算结果	$=-1$	A'	k
最终计算结果	$\neq -1$	A''	0

水源能到达的最远处是这样确定的, 选择大口径消防水带常用规格型号, 其最高工作压力作为增压泵工作压力选型设计上限, 结合末端(分水器)压力, 计算消防供水沿程压力损失和标高差, 综合确定供水距离。消防供水沿程压力估算如下。

$$H_d = S \times Q^2 \quad (1)$$

式中: H_d 为每百米水带沿程压力损失, MPa; S 为每百米水带摩阻系数; Q 为供水流量, L/s。

水源能到达的最远处=[净压差(起点压力-供水高度-末端压力)]/百米水带沿程压力损失。

2.3 构建加权 Voronoi 图模型

以攸县黄丰桥国有林场为例, 用上述元胞自动机动态生成加权 Voronoi 图的理论知识进行格局分布分析。各区域都有自己的优势指标, 将这些指标总结为 5 个: 森林火险等级、汇集水量难度、取水的便捷度、交通状况、建设费用。有些区域取水很便捷但建设费用高, 有些区域交通状况好但汇水难度大等。但是相对而言, 森林火险等级和汇集水量难度是固定因素, 而其他都是变化因素。所以, 可以以固定因素指标为权重基础、利用元胞自动机动态生成加权 Voronoi 图来对森林区域进行划分。影响森林灭火效率的各项指标各自也受到不同自然条件、实际情况的影响, 具体介绍如下。

(1) 第 1 个指标是森林火险等级分布情况。它主要受攸县黄丰桥林场地区的林木种类、干旱程度等因素影响。其测量主要根据温度、降水量等来计算。然而, 据往年统计情况, 攸县黄丰桥的森林火险等级基本保持一致, 在本文的研究中视其为无变化。

(2) 第 2 个指标是汇集水量难度。该指标主要根据黄丰桥林场附近地区的湖泊、河流数目, 以及降水量等条件决定。据统计, 受各自然因素影响, 攸县黄丰桥林场附近地区近几年的汇水量差距较小, 视为相同。

(3) 第 3 个指标是消防员灭火时取水的便捷度。其主要由起火点与水源距离的远近、山路的崎岖程度来衡量。

(4) 第 4 个指标设为林区附近交通状况。本文主要考虑攸县黄丰桥森林区域附近公路的拥堵情况, 保证水源地位于较好通车的地方, 或是便于开辟取水道路之地。

(5) 第 5 个指标为工程费用。该费用主要包括建设和维护水源地的费用, 其工程造价的预算主要考虑待建蓄水库的容积大小、建设待选水源地的难易程度以及选用的建筑材料优劣。

权重的具体计算步骤为:

step 1: 将初始权重设为 1, 即 $\omega_0 = 1$ 。

step 2: 设某水源地的第 0 次迭代坐标为 (x_i^0, y_i^0) , 根据 Voronoi 图的定义式, 得到第一次各水源地的水资源辐射范围, 形成一个基本的 Voronoi 图。

step 3: 迭代计算下一次水源地的坐标 (x_i^{t+1}, y_i^{t+1}) 。

step 4: 根据加权 Voronoi 图的定义, 计算每个水源地所归属的 Voronoi 区域, 得到第 $t+1$ 次各水源地所能作用的范围, 该范围即是加权 Voronoi 图的形式。

step 5: 任意起火点 $f(x_j, y_j)$ 到水源地 A、B 的加权距离分别为

$$\begin{aligned} d_{jq-A} &= d_A / \omega_A \\ d_{jq-B} &= d_B / \omega_B \end{aligned} \quad (2)$$

式中: d_{jq} 为起火点到水源地的加权距离; d_{jq-A} 为起火点到水源地 A 的距离; d_A 为二者之间的直线距离; ω_A 为水源地 A 处的权重值, 对应的为 B 处的变量。

以此类推, 即为迭代过程中起火点 $f(x_j, y_j)$ 到

所有水源地的加权距离 d_{jq-A} , d_{jq-B} , $d_{jq-C} \dots$

若 $d_{jq-k} = \min(d_{jq-A}, d_{jq-B}, d_{jq-C}, \dots, d_{jq-k}, \dots)$, 则此起火点属于 k 水源地的水所能供给的范围。

step 6: 如果各水源地的变动距离和小于阈值 ξ , 则结束迭代; 否则, 返回 step 3。

对上述指标数据进行标准化和归一化处理, 按权值计算公式, 采用层次分析法确定各个指标的权重系数为: $\alpha_1=0.25$, $\alpha_2=0.22$, $\alpha_3=0.25$, $\alpha_4=0.13$, $\alpha_5=0.15$, 通过计算得到以上五项指标的权重如表 2 所示。

表 2 各指标权重表
Tab. 2 Indicator weights

影响因素	权重
森林火险等级	0.15
汇集水量难度	0.15
取水便捷度	0.30
交通状况	0.27
建设费用	0.13

2.4 加权 Voronoi 图重心模型

上述加权 Voronoi 图的权值确定过程中, 水覆盖森林起火区域面积是否均匀合理这一重要因素尚未考虑在内。森林灭火时, 水是救援火灾的最根本条件, 没有水的作用, 灭火工作几乎无法完成。因此, 从上述由元胞自动机动态生成的加权 Voronoi 图模型定位得到的待选水源获得的水是否充分利用, 直接影响灭火的工作效率。于是, 采取找到加权 Voronoi 图重心的方法, 来优化这一指标。

加权 Voronoi 区域重心确定过程作为:

step 1: 先用离散 Voronoi 图的生成算法来生成每个生成元的 Voronoi 区域。

step 2: 给每个生成元分配与其它生成元都不相同的颜色。

step 3: 对每个生成元, 用上述指定的颜色从生成元点附近开始围绕生成元画点。此过程中, 权重越大的区域向外扩展速度越快, 反之则相反, 直到屏幕上所有的像素点都涂满了颜色时则退出。

step 4: 画点的同时记录下相同颜色区域点的

坐标, 并对其做累加, 得到每个区域所有点的纵横坐标 x_i 和 y_i 的累加值, 再将其代入文献[10]的重心公式即可得到该加权 Voronoi 区域的重心。

此过程中, 不同颜色区域的边界即为加权 Voronoi 图的边界, 且这条边界一般是圆弧形的。然而, 计算机中数据的存储空间是有限的, 运用文献[10]的公式计算重心坐标需要累加 x_i 和 y_i , 其最终的计算结果很有可能过大而造成数据的溢出。于是, 可将文献[10]的公式优化为:

$$\begin{aligned} x &= \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_0) + x_0 \\ y &= \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_0) + y_0 \end{aligned} \quad (3)$$

式中: 只需累加 $x_i - x_0$ 和 $y_i - y_0$, 其数据结果将大大减小, 有效减少误差的产生。确定加权 Voronoi 区域重心时, 是一个逐步收敛的过程, 每一次循环都更加趋近于最优解, 随着循环次数的增加, 累加项趋于 0, 最终收敛结果为 (x_0, y_0) 。

重心的发现使得水覆盖森林起火区域面积均匀合理, 但实际上, 由于重心的位置和加权 Voronoi 区域生成元的位置并不等效, 故只有将二者相结合与比较, 才能充分发挥其作用。比如, 若二者相差很远, 则说明生成元的位置不够合理, 还需调整。针对上述二者位置存在一定偏差的问题, 本文将采用交替定位分配算法进行局部优化。

3 交替定位分配算法优化选址模型

交替定位分配算法是一种局部搜索算法, 本文将用于对上述模型中加权 Voronoi 图的生成元与重心位置之间的偏差问题进行优化^[11]。

ALA 算法的具体执行步骤为:

step 1: 分配。

在森林灭火水资源选址优化过程中, 对于确定的 p 个水源位置的初始位置 $(x_{qi}^t, y_{qi}^t), i=1, 2, \dots, p$, 按照 Voronoi 图理论对水源辐射范围的确定原则, 将各个起火点分配给与其临近的水源。

step 2: 选址。

分配步骤中已将起火点分成了 p 组, 对于每个

水源所能辐射的区域, 按照一定的规则, 求解相应水源地的最优解。

以上 2 步交替进行, 直到前后两次计算的水源地位置距离变动小于阈值, 则停止运算。该方法的求解过程是一个逐步收敛的过程, 每一次循环都更加趋近于最优解, 该方法计算速度快且方便操作。

由于元胞自动机将森林起火区域划分为不同 Voronoi 区域, 可用该算法进行局部搜索寻最优, 以确保划分后的各分区均具有充足的可用水资源, 保证选址密度的高度合理性。其更大的意义在于缩小二者之间的距离, 使得水源地的定位更加精准, 达到局部优化的目的。

4 仿真结果分析

在湖南省攸县黄丰桥国有林场的森林灭火水源选址工作过程中, 应始终秉持着保护当地自然环境和保障社会财产的原则。根据对当地情况的调查和研究, 我们选取了攸县黄丰桥林场的 4 个片区(黄丰桥 A、高枳镇 B、湖南坳 C、贾山 D)的 12 个待选址点进行指标分析。这 12 个待选址点标记为:

$A, A', A'', B, B', B'', C, C', C'', D, D', D''$, 并表示为:

$P_1, P_2, P_3, P_4, \dots, P_{11}, P_{12}$ 。且其水分布图如图 2

所示。

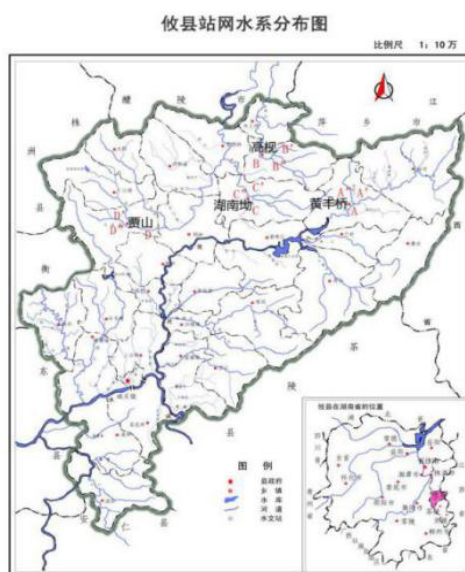


图 2 攸县的水分布地图

Fig. 2 Water distribution map in Youxian

4.1 实验的仿真环境

根据上述模型的实现步骤, 进行计算机仿真, 本系统在开发时所选择的操作系统是 Windows 10, 本文生成加权 Voronoi 图采用的软件开发工具是 ArcGIS Engine, 为了便于生成 Voronoi 图和进行数据分析, 利用 ITopologicalOperator 接口简化对结点和边的计算, 其软件仿真操作界面如图 3 所示。

4.2 由元胞自动机生成加权 Voronoi 图的重心模型分析

在上述攸县水分布地图和 12 个待选址点的基础上, 将采用元胞自动机动态生成加权 Voronoi 图的重心模型过程中得到的结果依次展示如图 4 所示。

图 4 中, “·”黑点所在位置为元胞自动机动态生成加权 Voronoi 图模型得到的水源地, 图 4(d)中, 梅花点“*”所在位置为 Voronoi 区域的重心位置。

从结果可以看出, 该选址模型能有效地筛选出合理水源位置, 符合中国森林地形特征, 采用加权 Voronoi 图能合理划分水源的有效影响范围, 对上

述 5 个子图, 分别依次作如下描述。

(1) 图 4(a)是一般 Voronoi 图的选址位置, 其结果与当地森林地形特征不相符;

(2) 图 4(b)的加权 Voronoi 图由普通网格法生成;

(3) 图 4(c)由元胞自动机动态生成, 图 4(c)中显示了基于 12 个待选址点的加权 Voronoi 图的作用域。比较(b)与(c)的划分结果, (c)与交通地形和水源联系更密切, 因此更可行, 更符合实际情况;

(4) 图 4(d)中, 除黄丰桥 A 片区的重心位置与得到的水源地距离较远之外, 其他片区都在可控范围内。重心位置反映了黄丰桥 A 片区选址结果的不足, 由于 A 片区中二者位置相差较远, 通过相应调整使得水覆盖森林起火区域面积更加均匀合理;

(5) 图 4(e)中, 采用交替定位分配算法对上述模型进行改进, 缩短重心位置与得到的水源地之间的距离, 达到局部优化的目的。

因此, 基于交替定位分配算法局部优化的元胞自动机动态生成加权 Voronoi 图的重心模型更适用于本文。

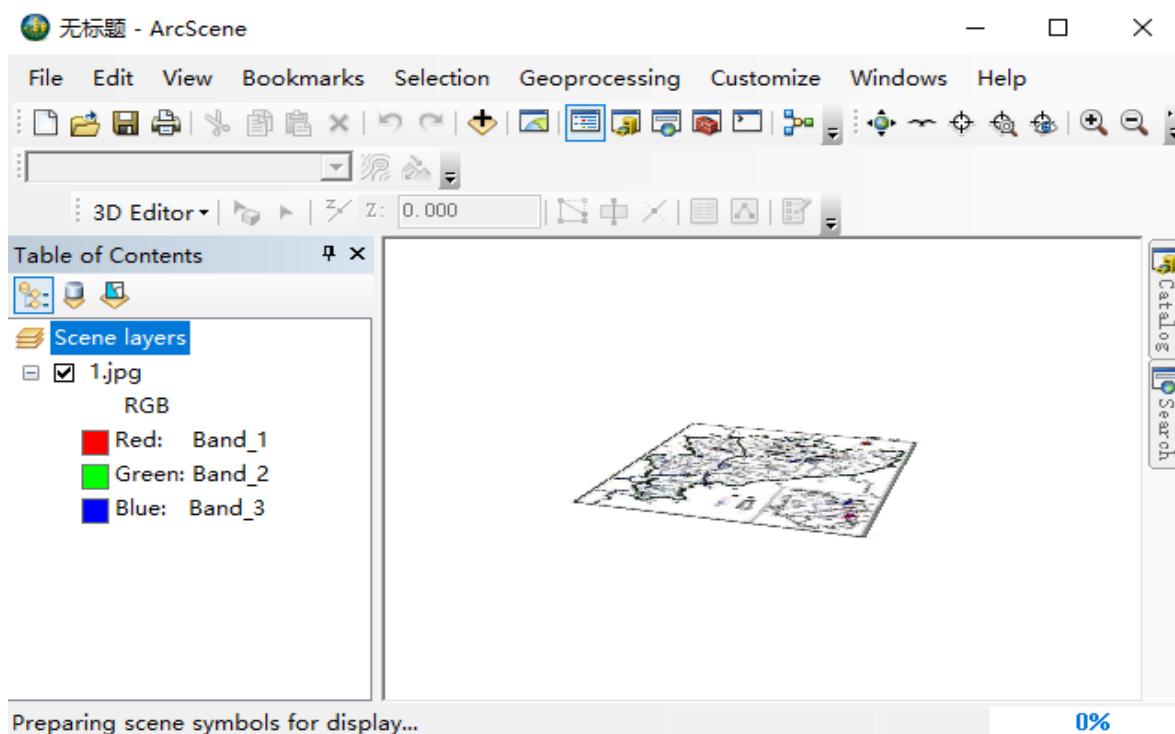


图 3 软件仿真操作界面

Fig. 3 Interface of software simulation

<http://www.china-simulation.com>

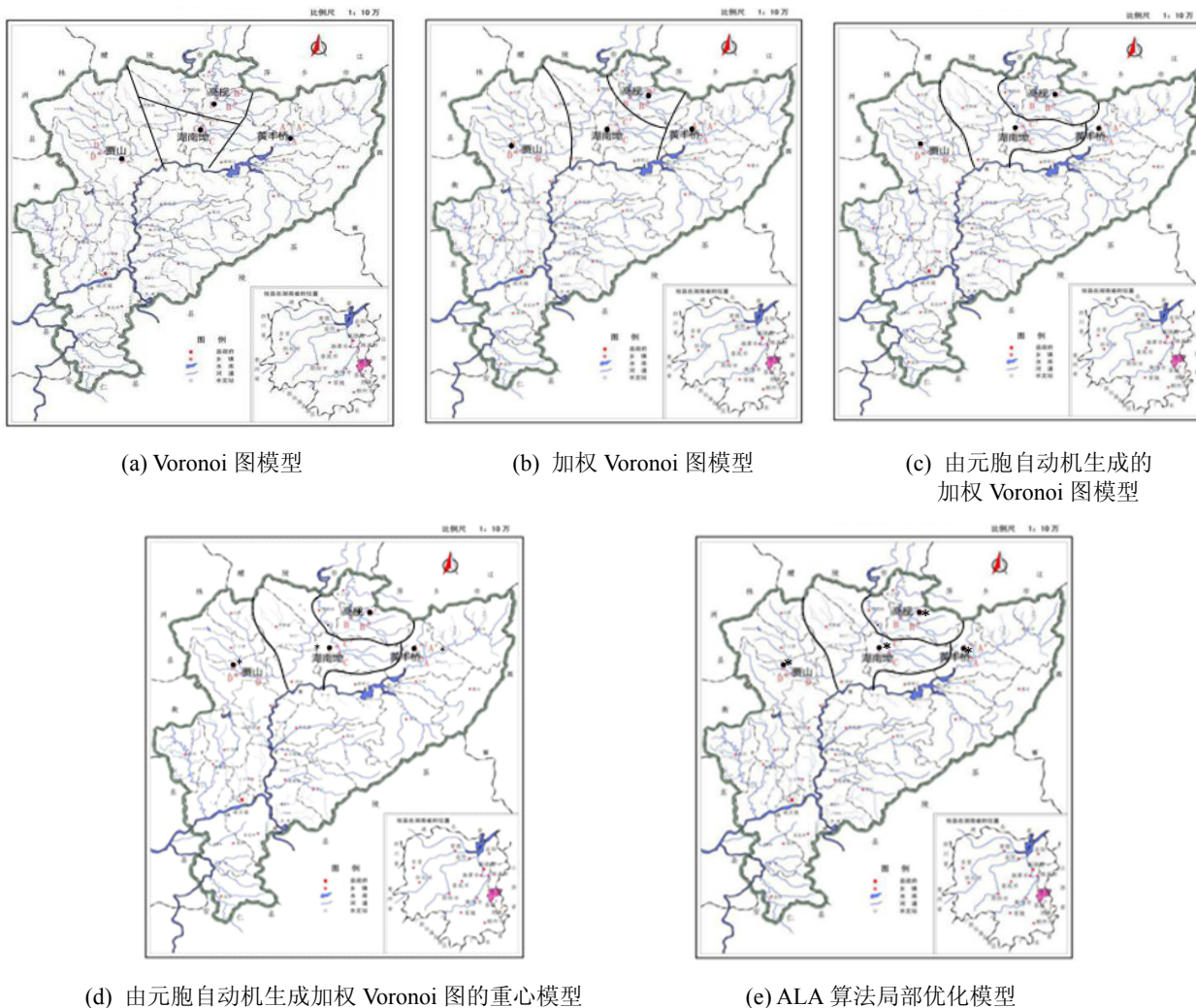


图 4 不同模型选址规划方案
Fig. 4 Methods for different locating models

4.3 本文模型的内部比较

经过建模过程的一步步改进得到现有的 5 个基本模型如图 5 所示。

从图 5 明显观察到, 基于交替定位分配算法局部优化的元胞自动机动态生成加权 Voronoi 图的重心模型性能最优, 其火苗覆盖率随时间下降最快, 灭火速率最快, 效率最高。

4.4 本文模型与其他模型的定量比较

为了进一步说明本文模型在森林灭火工作中的优越性, 将其与文献[7]提出的基于 DEA 算法模型进行定量分析与比较。

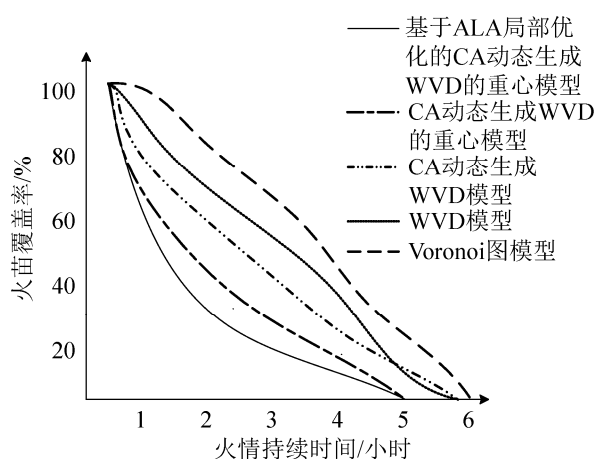


图 5 不同模型的火苗覆盖率随时间变化关系
Fig. 5 Changing relationship of fire coverage over time of different models

图 6 为本文的模型和文献[7]模型的经济性对比图,从图 6 中能清楚地看到在火势覆盖面积相同的情况下,本文模型比文献[7]模型更经济。

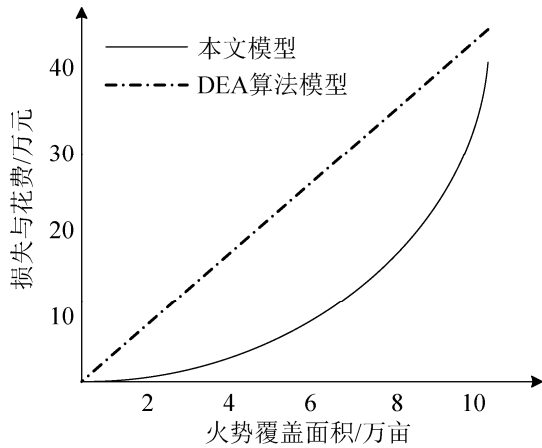


图 6 经济性对比

Fig. 6 Economical differences

图 7 为本文模型和文献[7]模型的效率对比图,从图 7 中能非常直观地看到在火势覆盖面积相同的情况下,本文模型的灭火时间比文献[7]模型的灭火时间短得多,故本文模型的灭火效率更高。

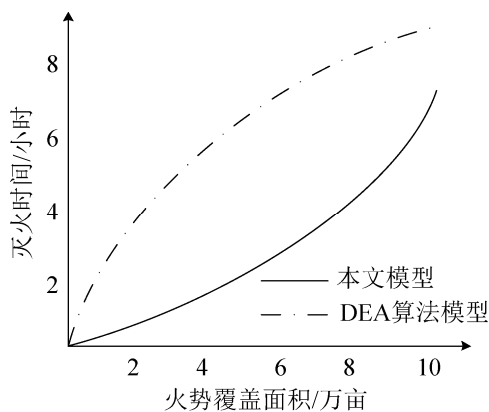


图 7 效率对比

Fig. 7 Efficiency contrast

本文将火苗覆盖率、火势覆盖面积均归结为求森林火灾面积的问题。而计算森林火灾面积的方法是在勾绘火灾范围的基础上,考虑到火灾范围不是规则图形,故再采用透明方格纸计算法测量森林火灾的过火面积。对齐水平和垂直方向,将透明方格纸平铺在已勾绘好的 1:1 000 比例尺地形测绘图

上,用铅笔临摹火场范围。并数出整方格和不完整方格的数目,不完整方格数目记为 1/2 整方格,计算森林火灾面积的公式为:

$$S_{\text{火场实际面积}} = \sum_{i=1}^N S_{\text{单位方格实际面积}} \quad (4)$$

本文的方法与 DEA 算法的可达性比率如图 8 所示,很明显本文方法的可达性远高于 DEA 算法。

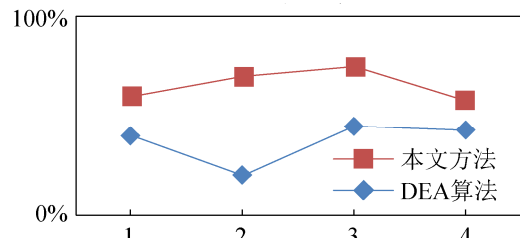


图 8 两种方法的可达性比率

Fig. 8 Ratio of reachability of two kinds of methods

从经济性、效率性、可达性 3 个方面分别进行定量分析并比较看到了本文模型的优越性,综合比较结果如表 3 所示。

表 3 两种模型的综合比较

Tab. 3 Comprehensive comparison of the two methods

方法	选址数目	灭火效率/m ²	可行性	建设费用/万元
本文模型	4	81426	56.5%	37.64
文献[7]模型	4	77970	44.3%	40.26

综上所述,本文方法比 DEA 算法更有效。本文模型花费更少的钱,可以更快、更有效地灭火。

所以,本文提出的森林灭火水资源选址规划方案实用性强、可操作性高。

5 结论

森林火灾时常突发在我们身边,有效的水源地可以提高消防员消灭林火的效率。本文以湖南省攸县黄丰桥林场为例,提出基于元胞自动机动态生成的加权 Voronoi 图的重心模型和由交替定位分配算法局部优化的森林灭火水资源选址规划方案。

首先,提出基于元胞自动机动态生成的加权

Voronoi 图的重心模型, 根据元胞状态的变化发生在扩张的边界处, 得到了待选水源的空间影响范围, 合理地划分了森林区域, 初步得到水源的待选址。再采用交替定位分配算法对 Voronoi 区域的划分结果进行动态调整, 减小该选址结果与重心位置之间的距离, 确保各区域具有足够的蓄水量, 合理覆盖各高火险区域。

本文提出的方法, 减少了确定水源位置的迭代次数, 增强了水源位置的合理性, 从而提高了森林灭火的效率, 降低了火灾对人与自然带来的损失。由于该模型符合中国南方地区的地形特征, 可将其应用于我国南方尤其是湖南地区的其他林火现场。

参考文献:

- [1] Hua L Z, Shao G F. The progress of operational forest fire monitoring with infrared remote sensing[J]. *Journal of Forestry Research*(S1341-6979), 2017, 28(2): 215-229.
- [2] 田晓瑞, 代玄, 王明玉, 等. 多气候情景下中国森林火灾风险评估[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(3): 769-776.
Tian Xiaorui, Dai Xuan, Wang Mingyu, et al. Forest fire risk assessment for China under different climate scenarios[J]. *Chinese Journal of Application Ecology*, 2016, 27(3): 769-776.
- [3] 魏书精, 罗碧珍, 孙龙, 等. 黑龙江省温带森林火灾碳排放的计量估算[J]. *生态学报*, 2014, 34(11): 3048-3063.
Wei Shujing, Luo Bizhen, Sun Long, et al. Estimates of carbon emissions caused by forest fires in the temperate climate of Heilongjiang Province, China, from 1953 to 2012[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(11): 3048-3063.
- [4] Chen Y, Zhang M, Yang X, et al. The research of forest fire monitoring application[C]. *International Conference on Geoinformatics, ICG 2010*. Beijing China: IEEE (S2161-024X), 2010: 1-5.
- [5] Zhu Y, Xie L, Yuan T. Monitoring system for forest fire based on wireless sensor network[C]. *World Congress on Intelligent Control and Automation, WCICA 2010*. Beijing China: IEEE (S0170-8643), 2012, 4245-4248.
- [6] Mohammadi F, Bavaghar M P, Shabani N. Forest Fire Risk Zone Modeling Using Logistic Regression and GIS[J]. *Small-scale Forestry* (S1873-7617), 2014, 13(1): 117-125.
- [7] 陈爱斌, 艾俊, 周国雄. 基于 DEA 算法的森林水源选址优化[J]. *电子世界*, 2016, 20: 85-89.
Chen Aibin, Ai Jun, Zhou Guoxiong. Optimization of Locating Forest Water Source Based on DEA Algorithm[J]. *Electronics World*, 2016, 20: 85-89.
- [8] 刘帅, 吴舒辞, 王红, 等. 基于 Voronoi 图的林分空间模型及分布格局研究[J]. *生态学报*, 2014, 34(6): 1436-1443.
Liu Shuai, Wu Shuci, Wang Hong, et al. The stand spatial model and pattern based on voronoi diagram[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(6): 1436-1443.
- [9] Barequet G, Dickerson M, Eppstein D, et al. On 2-site Voronoi diagrams under geometric distance functions[J]. *Journal of Computer Science and Technology* (S1000-9000), 2013, 28(2): 267-277.
- [10] 庞慧, 郑铮, 赵巍. 加权 Voronoi 图重心在公共设施选址中应用的研究[J]. *河北建筑工程学院学报*, 2010, 28(4): 100-104.
Pang Hui, Zheng Zheng, Zhao Wei. Research on the Weighted Voronoi's Center of Gravity Used in the Site Selection of Public Facilities[J]. *Journal of Hebei Institute of Architecture and Civil Engineering*, 2010, 28(4): 100-104.
- [11] Pu Fanqiang. Substation Optimization Research Based on Divisional Weighted Voronoi Diagram[D]. Tianjin: Tianjin University, 2008.